

EUR 4211 f

LIBRARY

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - EURATOM

**PRINCIPAUX CODES DÉVELOPPÉS DANS LE CADRE
DU PROGRAMME ORGEL UTILISÉS POUR LES CALCULS
DU PROJET**

par

M.F. JAMET

1968



Programme ORGEL

**Centre Commun de Recherche Nucléaire
Etablissement d'Ispra - Italie**

Projet ORGEL

AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés Européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés Européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privatifs;

n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

Ce rapport est vendu dans les bureaux de vente indiqués en 4^e page de couverture

au prix de FF 15,-

FB 150,-

DM 12,-

Lit. 1870

Fl. 11,-

Prière de mentionner, lors de toute commande, le numéro EUR et le titre qui figurent sur la couverture de chaque rapport.

Imprimé par SMEETS
Bruxelles, décembre 1968

Le présent document a été reproduit à partir de la meilleure copie disponible.

EUR 4211 f

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - EURATOM

**PRINCIPAUX CODES DÉVELOPPÉS DANS LE CADRE
DU PROGRAMME ORGEL UTILISÉS POUR LES CALCULS
DU PROJET**

par

M.F. JAMET

1968



Programme ORGEL

**Centre Commun de Recherche Nucléaire
Etablissement d'Ispra - Italie**

Projet ORGEL

RESUME

Nous nous sommes proposés de présenter, parmi les codes que nous utilisons pour projeter des réacteurs «Organique - Eau lourde», ceux qui ont été élaborés dans le cadre du Programme ORGEL, soit par les Services d'EURATOM soit par contrat.

Si certains codes existant ne figurent pas dans ce répertoire c'est donc qu'ils ont été remplacés, dans l'usage, par d'autres mieux adaptés, ou bien qu'ils ne sont pas d'un emploi direct dans les études de projet de réacteurs.

Pour chaque code, dans la rubrique «Identification», figure le nom de l'auteur; il s'agit de la personne qui a conçu le programme et veillé à son élaboration; c'est donc à elle que, de préférence, le lecteur s'adressera pour obtenir tous renseignements; n'ont pas été mentionnés les auteurs des programmes auxiliaires répertoriés sous la rubrique «Informations spécifiques».

MOTS-CLES

ORGEL REACTOR
DESIGN
PROGRAMMING

Introduction

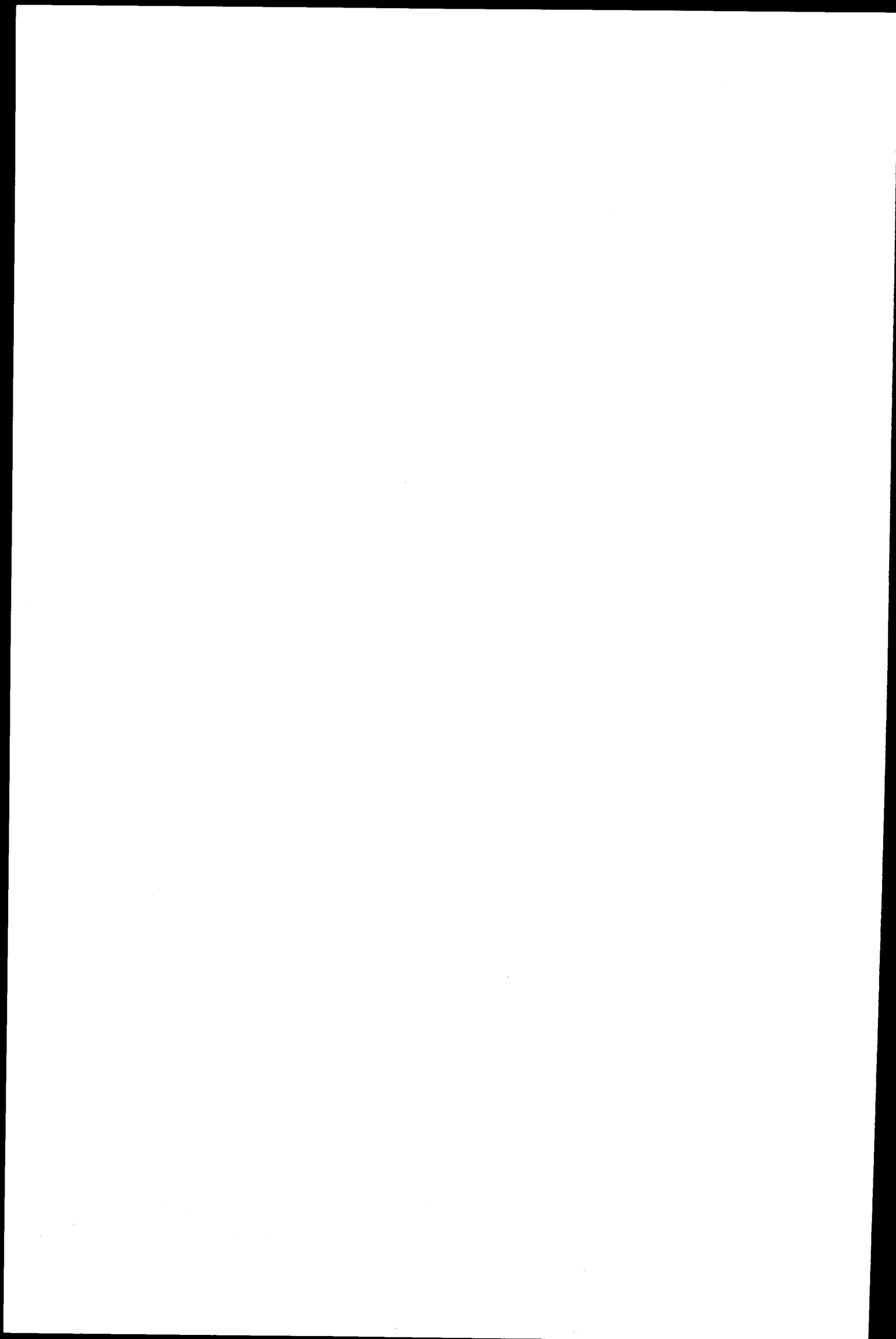
Nous nous sommes proposés de présenter, parmi les codes que nous utilisons pour projeter des réacteurs "Organique - Eau lourde", ceux qui ont été élaborés dans le cadre du Programme ORGEL, soit par les Services d'EURATOM soit par contrat.

Si certains codes existant ne figurent pas dans ce répertoire c'est donc qu'ils ont été remplacés, dans l'usage, par d'autres mieux adaptés, ou bien qu'ils ne sont pas d'un emploi direct dans les études de projet de réacteurs.

Pour chaque code, dans la rubrique "Identification", figure le nom de l'auteur; il s'agit de la personne qui a conçu le programme et veillé à son élaboration; c'est donc à elle que, de préférence, le lecteur s'adressera pour obtenir tous renseignements; n'ont pas été mentionnés les auteurs des programmes auxiliaires répertoriés sous la rubrique "Informations spécifiques".

Pour établir ce document la collaboration des auteurs a été indispensable; nous les en remercions très vivement. Nous remercions également les personnes dont les noms suivent et dont la contribution pour la programmation et la mise au point des codes a été précieuse.

MM.	W. BOETTCHER	pour ERUPT, REFLOS, CRAYON G1-L1, ORION III
	C. DAOLIO	pour PINOCCHIO
	R. DI COLA	pour THESEE 1, THESEE 2
	S. GECCHIELIN	pour HDP2
	M. LECLOUX	pour COMET, DIFHYD, HTR
	R. NEELHUYSEN	pour CAPRI, PLUTHARCO, RLT4
	H.I. DE WOLDE	pour CROOC, VETRO



LISTE DES CODES

PHYSIQUE DU REACTEUR

	Page
CAPRI	Facteurs d'utilisation thermique de la cellule 3
PLUTHARCO	Paramètres neutroniques de la cellule 6
PINOCCHIO	Paramètres neutroniques de la cellule 10
TRIHET	Keff et distribution de la puissance 14
RLT4	Réactivité à long terme 20
ERUPT	Réactivité à long terme 23
REFLOS	Gestion du combustible 26
MAC RAD	Déposition d'énergie dans les blindages 30

COMPORTEMENT DE LA CELLULE

THESEE 1	Performances thermo-hydrauliques 33
THESEE 2	Performances thermo-hydrauliques, méthode raffinée 37
THESEE 3	Performances thermo-hydrauliques, méthode statistique 40
CRAYON G1	Evolution thermo-mécanique des crayons combustibles 42
CRAYON L1	Idem, mais pour un joint liquide entre combustible et gaine 46
COMET	Contraintes mécaniques et thermiques dans les gaines 49
DIFHYD	Diffusion de l'hydrogène dans les tubes guides en alliage de zirconium 53

PERFORMANCES DE LA CENTRALE

HDP2	"Heat Exchange Design and Part Load" 57
PERFOR 1	Performances thermo-hydrauliques globales 63
PERFOR 2	Performances thermo-hydrauliques globales, méthode raffinée 66

DYNAMIQUE ET TRANSITOIRES

DYNOR	Comportement dynamique de la centrale 69
CINOR	Comportement sous-critique et démarrage du réacteur 73
COSTANZA	Comportement dynamique du réacteur 76
COSTANZA / XENON	Comportement dynamique du réacteur, transitoires Xénon 80
ACCOR	Comportement transitoire d'un canal, sans ébullition 82
FRANCESCA	Comportement transitoire d'un canal, avec ébullition 86
VETRO	Comportement transitoire d'un canal, avec ébullition et dépressurisation 89

<u>DYNAMIQUE ET TRANSITOIRES (suite)</u>		Page
CROOC	Pressions, températures et concentrations dans l'enceinte étanche	92
HTR	Accidents sur circuit vapeur	96
<u>OPTIMISATION</u>		
ORION II	Dimensionnement et optimisation	99

I. Identification

Nom	CAPRI
N° de travail	60.5876.XXXX
Langage	FORTTRAN - 360
Auteur et Adresse	W. De Haan - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu x)

CAPRI calcule le facteur d'utilisation thermique d'une cellule d'un réseau, comportant au plus 20 zones. Le calcul est fait par la méthode développée par Amouyal et Benoist.

b) Hypothèses de base. Approximations

Les hypothèses de base de cette méthode sont les suivantes :

- Le flux de neutrons est isotrope à travers les frontières entre zones
- La densité de collisions des neutrons après une première collision est constante dans la zone considérée. Il est possible d'introduire pour la zone centrale un facteur permettant de corriger l'erreur due à cette hypothèse.

x) THERMOS traite également ce problème à une dimension, tandis que GLUCOP, 2WXY, 2DF sont bidimensionnels.

c) Méthodes de calcul

Méthode d'Amouyal et Benoist présentée dans le rapport
"Nouvelle méthode de détermination du facteur d'utili-
sation thermique d'une cellule".

J. Nuclear Energy Vol. 6 p. 79 1957.

d) Données d'entrée

Pour chaque zone considérée :

- Section efficace d'absorption du combustible, homo-
généisée sur la zone,
- Section efficace totale d'absorption, homogénéisée
sur la zone,
- Section efficace de diffusion (scattering),
- Section efficace de ralentissement,
- Rayon extérieur de la zone.

e) Limitation

<u>Machine</u>	nombre de zones : 20
<u>Physique</u>	on ne considère qu'un seul groupe d'énergie et la grappe est subdivisée en zones concen- triques.

f) Résultats

Facteur d'utilisation thermique, et pour chaque zone

- Flux relatif
- Facteur de capture

Le calcul sera d'autant plus précis que l'hypothèse faite
sur l'isotropie du flux sera plus proche de la réalité.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360/65
- Unité périphérique 1 Bande librairie

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul \neq 10 sec.
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

W. De Haan - "CAPRI A.B. An IBM 7090 thermal utilisation factor CAlculation Program on the RIng method of Amouyal and Benoist" EUR 1606 e.

I. Identification

Nom	PLUTHARCO
N° de travail	60.5806.XXXX
Langage	FORTRAN IV
Auteur et Adresse	W. De Haan - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

PLUTHARCO calcule les paramètres neutroniques d'une cellule d'un réseau modéré par l'eau lourde. La cellule comporte une grappe de combustible (Uranium, plutonium ou thorium) refroidie par un réfrigérant quelconque (organique, H_2O , AIR, D_2O par exemple). Le programme est conçu pour un calcul global de projet et fournit les données d'entrée pour le calcul du cycle du combustible et les constantes de groupe homogènes et hétérogènes pour le calcul de la distribution du flux.

b) Hypothèses de base. Approximations

La méthode est basée sur la formule des 4 facteurs, la théorie à deux groupes et, pour les sections efficaces, sur le formalisme de Westcott.

c) Méthodes de calcul

Les constantes spectrales peuvent être fixées comme données d'entrée ou calculées par une formule empirique donnée par Bigham ^{x)}.

(x) B.G. Chidley - R.B. Turner - C.B. Bigham : Neutron Temperatures in a CANDU - Type Power Reactor. Nuclear Engineering : 16 p. 39-67 1963

Le calcul du facteur de fission rapide est basé sur la méthode de Fleishman et Soodak. Les intégrales de résonance sont calculées en fonction de la surface par gramme et de la température, par une formule dérivée de la méthode de Nordheim (codes ZUT + TUZ).

Le facteur d'utilisation thermique est calculé par la méthode d'Amouyal et Benoist.

d) Données d'entrée

- Spécifications des matériaux en présence dans la cellule
- Données géométriques de la cellule
- Caractéristiques du réseau { rapport de modération
 { Pas

e) Limitation

Physique traite directement les éléments en forme de grappes (1, 4, 7, 19, 22 crayons combustibles).
Pour d'autres géométries, consulter le mode d'emploi du code.

f) Résultats et marge d'incertitude

- Section efficace macroscopiques
 - Flux
 - Pourcentage de capture
 - Caractéristiques physiques du réseau
 - Entrées pour RLT.
- } Pour chaque zone

Marge d'incertitude

Après des mesures expérimentales sur une gamme étendue de réseaux vierges de type ORGEL, on a constaté que PLUTHARCO, donne des valeurs du B^2 s'écartant des valeurs expérimentales, de ± 500 à 1000 pcm^x). Pour d'autres réfrigérants que l'organique l'écart peut être plus grand pour les valeurs extrêmes du pas du réseau.

III. Equipement

- Ordinateur	IBM 7090 IBM 360
- Système	IBSYS-IBJOB
- Unités périphériques	1 Bande librairie 1 Bande banale

IV. Informations spécifiques

- Programmes auxiliaires	TERMIDOR calcule les sections macroscopiques des absorbeurs qui ne suivent pas la loi en $1/v$
- Temps de calcul	20 secondes
- Etat d'utilisation	en exploitation
- Matériel disponible	Deck Fortran Deck Binaire

(x) L. Amyot et autres - Heavy Water Lattice Analysis at Ispra. Proceeding of International Conference on the Physics Problems in thermal Reactor Design - London, June 1967

V. Référence

W. De Haan, R. Melhuysen - " PLUTHARCO : A Plutonium,
Uranium, Thorium, Assembly Reactivity Code".
Physical Concepts, Comparisons with Experiment and Code
Description. EUR 3141 e.

I. Identification

Nom	PINOCCHIO
N° de travail	60.5722.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	L. Amyot, R. Cuniberti - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Calcul du bilan neutronique pour un réseau infini des réacteurs thermiques (comme PLUTHARCO).

b) Hypothèses de base. Approximations

- Dans la zone thermique on suppose que le calcul du spectre peut être partiellement découplé du calcul de la distribution spatiale. La représentation géométrique approximative de la cellule du réseau (5 régions) permet de tenir compte des effets de spectre qui peuvent être traités par différents modèles de diffusion (scattering) (30 groupes d'énergie).
L'extension jusqu'à 2,2 eV permet d'introduire les effets du Plutonium dans la région thermique.
Le calcul spatial (jusqu'à 20 régions) est fait en géométrie cylindrique.
La grappe est homogénéisée en anneaux où les facteurs de désavantage sont tous égaux à celui calculé à un groupe pour la barre centrale.
- Le calcul des intégrales de résonance est basé sur la méthode de Nordheim. On tient compte de l'auto-protection (Self shielding) en introduisant les coefficients de Dancoff en géométrie de grappe.

Pour l'évaluation de l'absorption dans les résonances, on tient compte des effets de géométrie de la cellule par un calcul à un grand nombre de régions mais avec peu de groupes d'énergie

- L'effet de fission rapide est basé sur le bilan neutronique dans l'ensemble du réseau (2 groupes d'énergie) et est défini par le pourcentage de neutrons ralentis au delà de 0,1 Mev par fission primaire (au dessous de 0,1 Mev)
- Le calcul du coefficient de diffusion dans chaque groupe ne tient pas compte (dans la version actuelle du code) de l'influence de l'anisotropie de la diffusion sur le bilan neutronique.

c) Méthodes de calcul

PINOCCHIO consiste essentiellement en un couplage de programmes séparés, traitant les différentes régions d'énergie.

- La région thermique est traitée par un calcul simplifié de THERMOS qui donne les sections efficaces
- THEMIS calcule la répartition de la densité des neutrons en utilisant la technique de probabilité de collision dans le canal et la théorie de diffusion dans le modérateur
- Les intégrales de résonance sont obtenues par une formule corrélant les résultats de Nordheim (Codes ZUT et TUZ)
- Le coefficient de Dancoff est fourni à partir du code SHOCK qui tient compte de l'interaction entre les barreaux.

- Le facteur de fission rapide est calculé par RABBIT qui évalue les effets d'hétérogénéité du réseau en résolvant, à l'aide des techniques de probabilité de collision, un système d'équations de bilan.

d) Données d'entrée

Caractéristiques géométriques de la cellule.

Caractéristiques physiques des matériaux en présence.

e) Limitations

Physique

Le nombre de groupes est fixé à

- 2 groupes rapides
- 7 groupes épithermiques

Les paramètres thermiques sont évalués dans une géométrie à une dimension en subdivisant l'énergie en 30 groupes.

f) Résultats et marge d'incertitude

Les paramètres évalués sont identiques à ceux de PLUTHARCO.

Marge d'incertitude

Une série de comparaisons avec près de 200 mesures de laplacien effectuées dans divers laboratoires a conduit au résultat suivant : 60% des écarts observés sont inférieurs à ± 500 pcm moins de 10% supérieurs à ± 1000 pcm. Les résultats des comparaisons faites avec les mesures ORGEL confirment cette distribution ^{x)};

(x) L. Amyot et autres - Heavy Water Lattice Analysis at Ispra. Proceeding of International Conference on the Physics Problems in thermal Reactor Design - London, June 1967

III. Equipement

- | | |
|------------------------|--------------------|
| - Ordinateur | IBM 360/65 |
| - Unités périphériques | 2 Bandes librairie |
| | 1 Bande banale |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|--------------------------|--|
| - Programmes auxiliaires | THERMOS, RABBIT, PETARD,
THEMIS, SHOCK-II |
| - Temps de calcul | 1' pour un problème à 1 seul
crayon |
| | 2' pour un problème à 19
crayons |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Binaire |

V. Références

L. Amyot et autres - "A New Lattice Calculation Method for
ORGEL - Type Reactors" ANS. Trans. Nov. 1965 p. 511.

I. Identification

Nom	TRI HET
N° de travail	95.5994.XXXX
Langage	FORTTRAN IV FORTTRAN 360
Auteur et Adresse	J. Ligou - G.A.A.A. - PARIS

II. Objet

a) Description du problème résolu

Pour un ensemble TRIdimensionnel cylindrique et HETérogène comportant un modérateur et un certain nombre d'éléments cylindriques d'axes parallèles, le code calcule la distribution du flux neutronique thermique. Ces "éléments" placés indifféremment peuvent être des sources de neutrons rapides ou/et des absorbeurs de neutrons thermiques.

TRI HET comporte deux options :

- Déterminer le keff d'un ensemble donné
- Déterminer le niveau d'immersion de certains éléments pour obtenir un keff désiré.

Le code évalue de plus la distribution de puissance dans le réacteur et la puissance totale de l'ensemble.

b) Hypothèses de base. Approximations

Les approximations essentielles sont les suivantes :

1. L'absorption de résonance n'est pas traitée réellement d'une façon hétérogène.
2. Le flux à la frontière du canal contenant l'élément est constant, c'est-à-dire, indépendant de la direction azimutale.
3. Le flux rapide ne s'annule pas à la longueur extrapolée du réflecteur.

c) Méthodes de calcul

Le code est basé sur la méthode dite "hétérogène" de Feinberg et Galanin et sur le principe de la décomposition axiale des flux. Indépendamment de son aspect tridimensionnel la méthode traitée ici constitue une extension de celle de Galanin et Feinberg modifiée ainsi :

1. Le ralentissement des neutrons peut être traité sur option à 1 ou 2 groupes
 - 1 groupe rapide : Théorie de l'âge
 - 2 groupes rapides,
 - pour le groupe le plus élevé : Théorie de l'âge
 - pour le deuxième groupe : Théorie de diffusion
2. Il y a la possibilité de prévoir une paroi cylindrique mince (réacteur à 2 zones de D_2O) dont l'absorption sera importante seulement aux énergies thermiques.
3. Plusieurs corrections ont permis de traiter des "éléments" d'assez grand diamètre. La généralisation de cette méthode à une géométrie tridimensionnelle permet de traiter en outre les problèmes suivants :

4. Eléments combustibles de différentes longueurs.
5. Enfouissement partiel des barres de contrôle
6. Combustible non homogène axialement (le canal est divisé en T tronçons; au sein de chaque tronçon les paramètres nucléaires sont uniformes).

Le problème axial est résolu en développant en séries de Fourier les flux, les sources linéaires et les puits.

Remarque

Le code HETROIS plus raffiné que TRIHET et d'un emploi plus lourd, n'est pas utilisé normalement dans les calculs de projet; toutefois, son application à l'étude détaillée de certains phénomènes locaux est envisageable.

d) Données d'entrée

- Géométrie du réacteur et des éléments
- Coordonnées de tous les éléments dans le réacteur
- Constantes hétérogènes de tous les éléments caractérisant l'absorption et la génération de neutrons, le rapport du flux du modérateur et du flux dans les éléments, la puissance générée
- Constantes neutroniques du modérateur.

e) Limitation

Machine

- Maximum du nombre de canaux qui doivent tous être d'axes parallèles : $65 \times S$, S étant l'ordre de symétrie (Si $S = 4$, le réacteur contient au maximum 260 sites pour éléments combustibles et barres absorbantes)
- Maximum des nombres de tronçons par canal : 15.

Physique

- Les approximations 2 et 3 imposent une épaisseur de réflecteur de l'ordre de 4τ , (τ âge moyen de neutrons de fission) et un diamètre des éléments assez faible. Le réacteur et le modérateur doivent être du même matériau.

f) Résultats. Marge d'incertitude

- Le keff, ou bien la position des "éléments" pour obtenir keff fixé
- Le flux neutronique thermique à la périphérie de chaque canal pour 39 points axialement équidistants
- La densité de puissance pour les mêmes points
- Le flux neutronique thermique moyen pour chaque tronçon
- La puissance générée dans chaque canal
- La puissance totale générée dans le réacteur

Marge d'incertitude (Cf. Références)

Jusqu'à présent aucun réacteur de puissance actuellement en fonctionnement n'a été étudié par cette méthode. Par contre pour différents projets de réacteur ORGEL on a constaté une différence d'environ - 200 à 300 pcm sur la réactivité évaluée par des méthodes homogènes telles que EXTERMINATOR et EQUIPOISE.

La comparaison des résultats de TRIHET avec des expériences faites dans ESSOR, donne une erreur pour la distribution calculée du flux thermique d'environ $\pm 5\%$. Les écarts TRIHET-Expérience n'ont jamais excédé ± 300 pcm.

L'efficacité des barres de contrôle a été en général sous-estimée; pour différentes configurations l'erreur est comprise entre + 10% et - 5%.

III. Equipement

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| - Ordinateur | IBM 360
IBM 7090 |
| - Système | IBSYS-IBJOB pour le 7090 |
| - Unité périphérique | 3 bandes banales (ou disques) |

IV. Informations spécifiques

- | | | |
|-----------------------|----|--|
| - Temps de calcul | 2' | { pour un réacteur 40 canaux
Approximation Bessel 12
Approximation Fourier 3 |
| - Etat d'utilisation | | en production |
| - Matériel disponible | | Deck Fortran
Deck Binaire |

V. Références

A. Decressin, J. Ligou - "TRIHET - Comparaison des méthodes hétérogènes et homogènes utilisées dans le calcul des réacteurs ORGEL" EUR (à paraître)

J. Ligou, C. Mignot - "TRIdimensional Theory of HETerogeneous Reactors" Nuclear Science and Engineering 19 p. 58-73 (1964)

J. Ligou - "HETROIS : Méthodes hétérogènes à trois groupes de diffusion (Code HETROIS)" Communication EURATOM 1649 (1967).
(diffusion limitée)

I. Identification

Nom	RLT4
N° de travail	22.5596.XXXX
Langage	FORTTRAN IV 7090
Auteur et Adresse	W. De Haan - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu x)

RLT4 calcule pour un réacteur ORGEL (avec possibilité d'introduire un cycle THORIUM) la variation de la réactivité à long terme pour différents types de circulation du combustible : mélange homogène, circulation en un élément, circulation en 2 éléments, circulation croisée continue. Ce code doit être considéré, avant tout, comme un instrument de dégrossissage du problème de la réactivité à long terme et est donc particulièrement adapté aux études d'avant projet d'une filière de réacteur thermique.

b) Hypothèses de base. Approximations

Un certain nombre d'hypothèses sont faites tant sur la variation des paramètres nucléaires du réseau irradié que dans le calcul du bilan de réactivité pour les différents cycles envisagés : la méthode des perturbations est employée pour évaluer la moyenne spatiale des caractéristiques nucléaires de zones équivalentes du réacteur.

(x) FUELCYC, FUELMOVE, POOF (Canada), BURN UP (Suède) sont utilisés aussi pour résoudre le problème.

On utilise un modèle à un groupe et seuls, les paramètres thermiques du réseau varient pendant l'irradiation.

c) Méthodes de calcul

Pour chaque type de cycle considéré, le code détermine la distribution spatiale du taux d'irradiation (flux intégré) qui correspond au régime stationnaire et en déduit la distribution spatiale des concentrations et des paramètres du réseau (en particulière B^2). Le B^2_{eff} et k_{eff} du réacteur sont calculés par intégration des valeurs locales de B^2 , pondérées par les poids statistiques locaux.

d) Données d'entrée

Les caractéristiques neutroniques du réseau (fournies par PLUTHARCO).

e) Limitation

<u>Physique</u>	RLT a besoin des valeurs calculées dans les codes de cellule PLUTHARCO ou PINOCCHIO.
-----------------	--

f) Résultats. Marge d'incertitude

- Les concentrations des éléments lourds et des produits de fission données par rapport à la valeur initiale de 1^{235}U
- Pour chaque cycle la réactivité en fonction du taux de combustion.

Marge d'incertitude

Pour quelques cas étudiés, on constate une différence approximative de 10% sur la valeur de B^2_{eff} trouvée par RLT4 et celle trouvée par des méthodes plus élaborées.

III. Equipement

- | | |
|--------------|-------------|
| - Ordinateur | IBM 7090 |
| | IBM 360 |
| - Système | IBSYS-IBJOB |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| - Temps de calcul | ≠ 30 secondes |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran |
| | Deck Binaire |

V. Références

G. Blasser, G. Casini, J. Pillon - "Variation de la Réactivité à Long Terme pour différents types de circulation du combustible". EUR 129 e.

G. Casini, B. Dorpema - "Réactivité à long terme pour différents types de circulation du combustible". ISPRA-204
(pas disponible)

W. De Haan, R. Meelhuysen - "RLT4 : A long term reactivity program for survey calculation". ISPRA-1102. (pas disponible)

I. Identification

Nom	ERUPT
N° de travail	68.5856.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresses	W. Böttcher, A. Decressin F. Lafontaine Projet ORGEL EURATOM-Ispra-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

ERUPT est un code destiné au calcul de l'évolution d'un réacteur par une méthode homogène à deux dimensions et deux groupes d'énergie.

La gestion du combustible est traitée uniquement pour des mouvements radiaux (par zones concentriques).

Deux options sont possibles :

- Cas le plus général :

Toutes les opérations de chargements - transferts éventuels - chargements sont définis dans un vecteur d'entrée, ce qui permet de traiter une grande variété de mouvements radiaux

- Renouvellement du combustible sans déplacement :

La zone ayant l'irradiation maximale est déchargée et remplacée par du combustible neuf.

b) Hypothèses de bases. Approximation

- Le réacteur est découpé en zones concentriques (RINGS) qui sont subdivisées axialement en régions.
- Chaque subdivision est homogénéisée
- Les constantes neutroniques (thermiques et épithermiques) doivent être à l'avance tabulées en fonction du taux de combustion.

Chacune des constantes peut être, ou non, invariante pendant l'évolution.

Dans un même problème il est possible de traiter, au maximum, 4 types différents de combustible (tables)

Actuellement le critère de gestion est fait seulement sur la réactivité.

c) Méthodes de calcul

Calcul du réacteur - gestion du combustible - Evolution

Pour chaque séquence d'irradiation

- EQUIPOISE calcule la distribution du flux thermique pour une puissance totale constante du réacteur,
- Les critères de gestion sont testés pour décider d'une opération de manutention du combustible.

Le calcul peut être répété tant que l'état désiré en burn-up ou facteur de forme n'est pas atteint.

d) Données d'entrée

- Les constantes neutroniques sous forme de table pour chaque type de combustible utilisé
- Définition géométrique des zones concentriques (RINGS)
- Dimensions du coeur et des réflecteurs
- Limitation en réactivité
- Mode de gestion choisi.

e) Limitation

<u>Machine</u>	Nombre de mailles \leq 3200
	Nombre de zones de même volume \leq 275
<u>Physique</u>	Seuls des mouvements radiaux du combustible par "RINGS" sont considérés.

f) Résultats

- Réactivité keff
- Facteurs de forme du flux, ainsi que le facteur de forme de la puissance spécifique

- Distribution du flux thermique dans le coeur
- Distribution de la puissance spécifique dans le coeur
- Distribution des taux de combustion dans le coeur ainsi que les constantes neutroniques au taux de combustion local
- Pour le combustible déchargé ; irradiation moyenne, burn-up moyen, burn-up maximum, facteur de forme du burn-up.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360
- Unité périphérique 1 bande pour résultats intermédiaires

IV. Informations spécifiques

- Programmes auxiliaires EQUIPOISE
- Temps de calcul 0,4' / intervalle de temps
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

W. Böttcher, A. Decressin, F. Lafontaine.
ERUPT, A two dimensional, two energy group fuel management
programme for IBM 360 computer (à paraître). EUR.... (1968)

I. Identification

Nom	REFLOS
N° de travail	68.8125.XXXX
Langage	FORTTRAN 360
Auteur et Adresse	W. Böttcher, E. Schmidt Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

REFLOS est un code qui permet d'étudier :

- La gestion du combustible dans un réacteur de puissance selon une méthode de calcul hétérogène et à 3 dimensions
- L'évolution du coeur vierge jusqu'à l'équilibre
- Le coût de la gestion choisie.

Actuellement, seuls des mouvements radiaux du combustible sont étudiés. Il est possible de commencer l'irradiation avec dix types différents d'éléments combustibles (géométrie, enrichissement, réfrigérant etc...).

Pour ce type de gestion choisi, une opération de manutention a lieu si l'un ou l'autre des paramètres suivants atteint une valeur limite fixée

- | | |
|---|-----------|
| - keff minimum | } minimum |
| - facteur de force | |
| - taux de combustible | } maximum |
| - temps de séjour du combustible dans le réacteur | |

b) Hypothèses de base. Approximations

Dans une opération de chargement les éléments sont remplacés par "groupe"; le mouvement des éléments d'un seul canal est traité exactement si le "groupe" ne contient qu'un seul élément (le nombre de canaux d'un groupe est égal à l'ordre de symétrie du réacteur). Les approximations de REFLOS sont les approximations des sous programmes qui le composent : PLUTHARCO - RLT⁴ - TRIHET.

c) Méthodes de calcul

Le code est un couplage des programmes PLUTHARCO - RLT⁴ et TRIHET avec des sous programmes traitant le mouvement du combustible et les calculs économiques. Pour des valeurs successives de l'irradiation RLT⁴ calcule la composition isotopique du combustible, PLUTHARCO en déduit les constantes hétérogènes nécessaires au calcul du flux dans le réacteur et donne simultanément les données d'entrée pour le calcul de RLT⁴ à l'intervalle de temps ΔT . On obtient ainsi une table des constantes hétérogènes en fonction du taux d'irradiation et la distribution du taux local d'irradiation est déterminée en fonction de la répartition du flux dans le réacteur, calculée par TRIHET. L'évaluation du coût du combustible est faite par la méthode décrite dans EURATOM ECONOMIC HANDBOOK (EUR 3079).

d) Données d'entrée

- Les données géométriques de la cellule
- Les divers matériaux de la cellule
- La géométrie du réacteur
- La puissance totale désirée
- Type de gestion désirée
- Type de critère de gestion
- Données économiques pour le cycle de combustible

e) Limitations

Machine : Voir PLUTHARCO - RLT4 - TRIHET

Physique : Le code est applicable aux réacteurs modérés à l'eau lourde (ou plus généralement aux réacteurs avec modérateur faiblement absorbant)

Le réflecteur est du même matériau que le modérateur.

Le code ne traite actuellement que des mouvements radiaux du combustible.

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour les différentes étapes de la vie du combustible

- La réactivité ou le niveau des barres de contrôle
- Le facteur de forme
- La puissance spécifique maximale et le canal où elle est atteinte
- Le taux de combustion des éléments déchargés
- Les quantités des isotopes chargés et déchargés (en Kg)
- Le coût du cycle de combustible pour la période transitoire et la période d'équilibre

La complexité du code ne permet pas actuellement de prévoir l'importance des marges d'incertitude des résultats.

Il est raisonnable cependant d'espérer obtenir une bonne précision après un ajustement éventuel de quelques constantes dans les divers programmes d'après des données expérimentales.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360
- Unités périphériques 2 Bandes librairie
2 "Data set Scratch" sur disque
ou sur tambour

IV. Informations spécifiques

- Programmes auxiliaires : PLUTHARCO
RLT4
TRIHET
- Temps machine $\approx 0,5'$ par cycle pour 55 canaux à
18 tronçons
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

W. Böttcher, E. Schmidt
avec la collaboration de MM. W. De Haan, J. Hardt, J. Ligou,
P. Tauch and G. Veilhan
"REFLOS, a code for the Refined Evaluation of Fuel Loading
Schemes"
Rapport à paraître EUR.... (1968)

I. Identification

Nom	MAC RAD (x)
N° de travail	03.5903.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	U. Canali, C. Ponti - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie H. Ilseemann, H. Preusch A.E.G.

II. Objet

a) Description du problème résolu

MAC RAD est une édition révisée et développée (Revised And Developed) du code MAC (Peterson E.G. HW 73381 Avril 1962), il permet de calculer la déposition d'énergie dans le blindage d'un réacteur.

b) Hypothèses de base. Approximations

Les flux neutroniques sont calculés par la théorie de diffusion à 31 groupes et le rayonnement gamma par les équations d'atténuation standard (à 7 groupes) en tenant compte des facteurs de "build up". Le blindage est composé de régions d'épaisseur arbitraire, planes et homogènes. Les deux premières régions doivent contenir les éléments fissiles et sont de même composition, les autres régions, qui représentent le blindage, sont sans matériau fissile et composées d'un matériau quelconque.

(x) MAC RAD sera prochainement remplacé par SABINE, qui traite les mêmes problèmes mais en géométrie cylindrique.

c) Méthodes de calcul

L'équation de diffusion est réduite à un système de 3 équations différentielles de 1^{er} ordre qui sont intégrées numériquement. Les conditions aux limites sont :

- un flux imposé à l'interface coeur-blindage
- un courant nul entrant à l'extérieur.

d) Données d'entrée.

Caractéristiques physiques et géométriques de l'ensemble.
Epaisseur des régions, nombre de sous-régions, composition, etc.

Pour le coeur	{	<ul style="list-style-type: none">- valeur de la source de fission à la frontière du coeur- conditions aux limites pour l'équation de diffusion multigroupe- pente du flux thermique à l'intérieur du coeur- nombre de neutrons par fission
---------------	---	--

e) Limitations

<u>Machine</u>	N° maximum de régions 20
	N° maximum d'éléments différents ou isotopes 21
	2020 points pour le calcul de flux neutronique
	900 points pour le calcul du flux γ
<u>Physique</u>	Ne traite le problème qu'en géométrie plane.

f) Résultats

Le code calcule la distribution dans les réflecteur et blindage.

- Des flux neutroniques pour chaque groupe d'énergie
- Du taux de dose neutronique
- Des flux γ pour chaque groupe d'énergie et provenant de chaque région du blindage
- Du taux de dose γ pour chaque région
- Du taux des réactions pour les détecteurs (en 1/v) des neutrons d'énergie inférieurs au "cut-off" du Cadmium (0,5 ev).

III. Equipement

- | | |
|----------------------|----------------|
| - Ordinateur | IBM 360/65 |
| - Unité périphérique | 1 Bande banale |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| - Temps machine | 10' |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran
Deck Binaire |

V. Référence

U. Canali, H. Ilseemann, C. Ponti, H. Preusch - "MAC RAD :
A reactor shielding code". EUR 2152

I. Identification

Nom	THESEE 1
N° de travail	68.9977.XXXX
Langage	FORTTRAN IV FORTTRAN 360
Auteurs et Adresse	B. Chambaud, P. Civardi Projet ORGEL G. Di Cola - Cetis EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

THESEE 1 permet de déterminer

- La répartition des températures du réfrigérant dans les différents sous-canaux d'une grappe de crayons combustibles
- La distribution des températures de gaine autour du crayon thermiquement le plus chargé, dans une section donnée
- Les performances thermohydrauliques le long du canal, chaque canal étant divisé en grappes et chaque grappe en zones. (Peut traiter les éléments à 6-7, 18-19, 30-31, 37 crayons).

b) Hypothèses de base. Approximations

Le modèle tient compte de la génération de puissance non uniforme dans les différents crayons de la grappe, du transfert de masse entre les sous-canaux et des fuites thermiques vers le modérateur, mais représente de manière

simplifiée la distribution des coefficients d'échange thermique autour d'un crayon et néglige la conduction circonférentielle de la chaleur dans la gaine.

c) Méthodes de calcul

Dans un canal, les vitesses dans les différents sous-canaux de l'élément sont solutions d'un système d'équations obtenu à partir de l'égalité des pertes de charge dans ces sous-canaux, en tenant compte du transfert de masse des uns aux autres.

Le système est résolu par itérations successives à partir de valeurs initiales des vitesses qui s'établiraient dans les sous-canaux si on ne tenait compte que du frottement.

La distribution des températures est calculée en fonction de la variation des propriétés physiques du réfrigérant le long du canal et des répartitions radiale et axiale de la puissance dans le combustible.

d) Données d'entrée

Géométrie exacte du canal (crayon combustible et grappe).

Conditions thermohydrauliques de fonctionnement :

- Vitesse d'entrée et température d'entrée du réfrigérant
- Coefficients de transfert de masse et de chaleur entre les différents sous-canaux.

Génération de puissance axiale et structure fine radiale dans chaque crayon de la grappe.

d) Limitation

Machine 7 grappes
 10 zones
 8 sous-canaux

Physique Le code calcule exclusivement les éléments
 en forme de grappe.

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour chaque sous-canal, on détermine toutes les performances thermo-hydrauliques stationnaires, en particulier :

- Les pertes de charge
- Les températures de gaines

ainsi que

- Les sécurités vis à vis du burn out et de l'ébullition
- Les fuites thermiques vers le modérateur.

Marge d'incertitude

Elles proviennent principalement de ce que THESEE 1 néglige l'incidence :

- Des tolérances de fabrication
- De la conduction dans la gaine

et représente de manière simplifiée le coefficient de convection autour des crayons.

III. Equipement

- | | |
|--------------|---|
| - Ordinateur | IBM 360
IBM 7090 |
| - Système | IBSYS-IBJOB avec dispositif
overlay pour le 7090 |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| - Temps de calcul | 1,5' à 2' par cas |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran
Deck Binaire |

V. Référence

B. Chambaud, P. Civardi, G. Di Cola, R. Di Cola - "THESEE 1 :
Code de calcul des performances d'un canal de réacteur de
type ORGEL". EUR 3905

I. Identification

Nom	THESEE 2
N° de travail	68.9977.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	B. Chambaud, P. Civardi Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

THESEE 2 résout le même problème que THESEE 1 mais d'une façon plus complète puisqu'il tient compte de :

- La distribution des coefficients d'échange thermique autour d'un crayon
- La conductibilité circonférentielle de la chaleur
dans la gaine
dans le combustible
dans l'interstice combustible gaine

b) Hypothèses de base. Approximations

La puissance linéique est imposée tout au long du canal.

c) Méthodes de calcul

Les vitesses dans les différents sous-canaux sont déterminées comme dans THESEE 1. Pour chaque zone considérée la température moyenne du réfrigérant est calculée pour tous les sous-canaux, et à partir de ces températures et des coefficients moyens d'échange, le sous-programme TEMPLØC détermine les développements en série de Fourier en fonction de θ , de la température du fluide et du coefficient d'échange. La génération de puissance étant donnée

les distributions fines des températures de gaine et du combustible (en r et θ) sont alors calculées. On étudie ainsi chaque zone du canal considéré.

d) Données d'entrée

- Outre les données nécessaires à THESEE 1
- Génération de puissance développée en série double de Taylor (r, θ) calculée sur une forme donnée de génération de puissance^(x)
- Résistance thermique de la gaine et de l'interstice gazeux entre combustible et gaine (en série de Fourier)
- La distribution angulaire, en valeurs relatives, des coefficients d'échange thermique autour d'un crayon.

e) Limitation

Machine Les mêmes que dans THESEE 1

Physique Le code calcule un seul canal

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour chaque sous-canal et chaque zone on détermine :

- Les coefficients du développement en série de Fourier de
 - la température du fluide
 - du coefficient d'échange
 - la température de gaine
- La distribution fine de 0 à 2π de
 - la température du fluide
 - du coefficient d'échange
 - les températures de gaine (intérieure et extérieure)
 - des flux thermiques intérieur et extérieur à la gaine
 - et de 0 à R (rayon du combustible)
 - les températures du combustible.

(x) Il est possible d'entrer la génération de puissance par point; un sous programme en calcule alors les coefficients du développement en série.

Marge d'incertitude

Le code tenant compte des distributions fines de la génération de puissance, des coefficients d'échange, les marges d'incertitude provenant de la méthode sont dues, uniquement au fait que l'on ne tient pas compte de la redistribution des flux calorifiques à l'intérieur du crayon combustible, due à la conduction axiale.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360

IV. Informations spécifiques

- Programme auxiliaire	TEMPLØC (décrit dans le rapport "Etudes des Perturbations circon- férentielles et Axiales de Température dans une gaine cylindrique d'élément combustible" E. Aranovitch, E. Labarre, J. Reynen EUR 2480 f
- Temps de calcul	15'
- Etat d'utilisation	en exploitation
- Matériel disponible	Deck Fortran Deck Binaire

V. Référence

B. Chambaud, P. Civardi - "THESEE 2 - Code de calcul des performances thermohydrauliques d'un canal de type ORGEL"
EUR, à paraître

I. Identification

Nom	THESEE 3
N° de travail	68.9977.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	B. Chambaud
	Projet ORGEL
	EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

THESEE 3 résout le même problème que THESEE 1 mais, de plus, calcule les "Hot Channel Factors" statistiques dus aux tolérances de fabrication

b) Hypothèses de base. Approximations

Le programme traite le problème à partir d'une distribution Gaussienne des différentes grandeurs autour de la valeur nominale, mais une distribution quelconque peut être envisagée.

c) Méthodes de calcul

Après un tirage au hasard de toutes les grandeurs géométriques, on calcule avec la même méthode que dans THESEE 1 la thermohydraulique du canal. Ensuite un calcul statistique permet l'évaluation des points chauds.

d) Données d'entrée

- mêmes données que pour THESEE 1
- valeurs des déviations standard pour le calcul statistique.

e) Limitation

<u>Machine</u>	}	Les mêmes que dans THESEE 1
<u>Physique</u>		

f) Résultats

- Les mêmes que THESEE 1
- De plus pour chaque canal considéré
 - l'évaluation des points chauds
 - les écarts standard et les fonctions de distribution des principales grandeurs.

III. Equipement

- | | |
|--------------|---------|
| - Ordinateur | IBM 360 |
|--------------|---------|

IV. Informations spécifiques

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| - Temps de calcul | 30' : 1 cas |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran
Deck Binaire |

V. Références

B. Chambaud - "THESEE 3 - Performances d'un canal de type ORGEL
Code de calcul de performances nominales et des facteurs de points
chauds statistiques" EUR (à paraître)

I. Identification

Nom	CRAYON G1
N° de travail	68.5659.XXXX
Langage	FORTTRAN IV 7090 FORTTRAN 360
Auteurs et Adresse	M. Fantozzi, B. Huber Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

Comportement d'un CRAYON combustible à joint Gazeux.

a) Description du problème résolu

Pour des conditions fixées de fonctionnement, CRAYON G1 calcule au cours de l'irradiation les performances thermiques et mécaniques d'un crayon de combustible, constitué de :

- un barreau de combustible cylindrique et plein
- une gaine, et
- un joint gazeux entre combustible et gaine.

b) Hypothèses de base. Approximations

- La distribution des températures dans l'ensemble combustible-gaine-réfrigérant est symétrique par rapport à l'axe de la barre.
- Le combustible sous irradiation a un comportement isotrope (swelling, dilatation, etc...).
- Les équations sont établies pour l'état stationnaire.

c) Méthodes de calcul

Le barreau étant divisé verticalement en n zones ($n \leq 20$) le temps total d'irradiation est décomposé en une suite illimitée, de positions vraies ou fictives pendant lesquelles les paramètres de fonctionnement du réacteur peuvent être considérés constants. L'interdépendance de la conductibilité du joint et des autres grandeurs thermiques (telles que le gonflement, le volume des gaz de fission dégagé, les dilatations différentielles etc...) permet d'établir une équation donnant la température de la surface du combustible en fonction du temps. La valeur des intervalles de temps subdivisant la durée de chaque position est choisie de façon que les grandeurs thermiques varient linéairement entre 2 intervalles successifs. Après résolution de l'équation, toutes les quantités dépendant de cette température sont calculées ainsi que leur répercussion sur les contraintes mécaniques dans la gaine.

d) Données d'entrée

- Géométrie de la barre

- Paramètres de fonctionnement

Distribution de la puissance linéique

Pression et température du réfrigérant

Coefficient d'échange entre réfrigérant et gaine

Durée de fonctionnement dans chaque "position"

- Caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux
constituants.

e) Limitation

Machine 20 zones verticales par crayon

Physique Ne peut être appliqué à des transitoires
trop rapides (dans le cas du carbure d'uranium,
la variation de température du combustible ne
doit pas dépasser 1°C/s).

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour chaque section considérée, on obtient

- Les températures extérieure, intérieure et moyenne de la gaine
- La déformation de la gaine due à sa dilatation thermique
- Les contraintes thermiques dues aux gradients radiaux de température

et pour chaque durée d'irradiation, en fonction du temps :

- La pression du mélange gazeux
- La quantité des gaz de fission dégagés
- Le taux de gonflement du combustible
- Les températures du combustible
- La conductibilité du gap
- Les contraintes mécaniques et la déformation plastique de la gaine

Marge d'incertitude

Les marges d'incertitude tiennent essentiellement à l'approximation dans la connaissance des propriétés des matériaux en présence.

III. Equipement

- Ordinateur

IBM 360

IBM 7090

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul en sec: $0.4 \cdot n$. nombre d'intervalles de temps
- Etats d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
 Deck Binaire.

V. Référence

M. Fantozzi, B. Huber - "CRAYON G1 : A code for the Calculation of the Irradiation Behaviour of a Fuel Rod". EUR (à paraître)

I. Identification

Nom	CRAYON L1
N° de travail	68.5760.XXXX
Langage	FORTRAN IV 7090
Auteurs et Adresse	M. Fantozzi, B. Huber
	Projet ORGEL
	EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

Comportement d'un CRAYON combustible à joint Liquide.

a) Description du problème résolu

Le code CRAYON L1 peut, sur option, être un code de calcul

1. De projet : il permet de déterminer les caractéristiques géométriques du crayon en fonction des conditions de son irradiation et du burn-up visé.
2. De performances comme CRAYON G1.

b) Hypothèses de base. Approximations

Pour l'option 2 les hypothèses sont les mêmes que pour CRAYON G1 tandis que pour l'option 1 on se fixe a priori les limites d'emploi du matériau (contraintes et déformation de gainage). Le choix de ces limites est une hypothèse de base.

c) Méthodes de calcul

Le crayon combustible est divisé le long de son axe en n tranches et peut être soumis consécutivement à N régimes d'irradiation différents. Chaque position est subdivisée en intervalles de temps dt . Les caractéristiques du crayon atteintes à la fin d'un régime sont prises comme valeurs de départ pour le régime suivant.

Option 1 : Le code détermine par itérations successives les variables géométriques (jeu radial, jeu axial et niveau du joint liquide) de façon telle que, pendant la vie du crayon (c'est-à-dire pour l'un au moins des régimes d'irradiation) les limites de rupture de la gaine compte tenu des facteurs de sécurité, soient atteintes exactement.

Option 2 : Même déroulement du calcul que dans CRAYON G1.

d) Données d'entrée

Communes pour les 2 options

- Géométrie complète du barreau
- Caractéristiques des matériaux
- Distribution axiale de la puissance spécifique
de la température du réfrigérant
du coefficient d'échange

e) Limitation

<u>Machine</u>	20 tranches axiales
	30 positions de crayon dans le canal.

2) Résultats

Option 1 : Les données complètes de fabrication de l'élément combustible et pour ces dimensions les mêmes résultats que dans CRAYON G1.

Option 2 : Mêmes résultats que dans CRAYON G1

III. Equipement

- | | |
|----------------------|----------------|
| - Ordinateur | IBM 7090 |
| - Système | IBSYS-IBJOB |
| - Unité périphérique | 1 Bande banale |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|----------------------|--|
| - Temps de calcul | en sec: $\neq 0.4 \cdot n$. nombre d'intervalles de temps |
| - Etat d'utilisation | en test |

V. Référence

Rapport en préparation.

I. Identification

Nom	COMET
N° de travail	68.5957.XXXX
Langage	FORTTRAN 360
Auteur et Adresse	M. Fantozzi - Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

COMET donne une évaluation fine des COntraintes MEcaniques et Thermiques dans les différentes gaines des différentes grappes d'un canal ORGEL.

b) Hypothèses de base. Approximations

- On suppose valable la loi de Hooke, mais il est possible de traiter le problème dans les zones de Ludwig et de "strain hardening" si on connaît la fonction $E = f(\sigma)$ pour le matériau de gainage considéré.
- Application du principe de superposition des effets.

e) Méthodes de calcul

Les intégrales donnant les tensions mécaniques en fonction du gradient radial des températures (intégrales de Lorenz) sont résolues analytiquement pour une température de gaine de la forme

$$T = T_0 + k r^n$$

T_0 , k , n sont déterminés pour chaque angle en fonction des

températures intérieures et extérieures et de la température moyenne de la gaine connue à partir du flux qui la traverse (données d'entrée).

d) Données d'entrée provenant des codes

- | | | |
|----------|---|--|
| THESEE 3 | { | - Géométrie du canal et caractéristiques de fonctionnement (températures, pression, flux calorifique etc...) |
| | | - Distribution du flux circonférentiel à travers la gaine |
| | | - Distribution des températures circonférentielles développées en série de Fourier. |
| CRAYON | { | - Pression des gaz de fission |

Propriétés mécaniques du matériau de gainage, en fonction de la température.

e) Limitation

- | | | |
|-----------------|--|---------------------------|
| <u>Machine</u> | 40 zones circonférentielles
15 zones radiales | } 640 pts. par
section |
| <u>Physique</u> | Les tensions sont calculées seulement pour la section moyenne de la grappe (il est impossible de trouver la solution exacte pour une distribution axiale quelconque des températures). | |

f) Résultats et marge d'incertitude

- Distribution radiale et axiale des températures
- Tensions thermiques dues aux gradients radial et circonférentiel
- Tensions mécaniques dues aux charges statiques et hydrauliques.

- Tensions mécaniques dues aux pressions
- Tension "idéale" à chaque point de la section avec la théorie de l'énergie de distorsion
- Un coefficient de sécurité vis à vis de cette tension calculée à partir des relations qui existent pour la contrainte admissible du matériau de gainage.

N.B. : N'ayant pas la distribution fine de la température sur la surface extérieure d'une gaine ailetée mais seulement une valeur moyenne pour chaque ailette la tension "idéale" pour les zones à ailettes ne peut être calculée rigoureusement; on pourra alors déterminer deux valeurs extrêmes entre lesquelles la contrainte vraie est comprise.

Marge d'incertitude

Les résultats sont d'autant plus exacts que sont parfaitement déterminés ; le développement en série de Fourier de la température circonférentielle de la gaine ainsi que les propriétés mécaniques du matériau de gainage. D'autre part il faut remarquer qu'en dehors du domaine élastique le principe de superposition donne une surestimation des contraintes (à noter que, pour le SAP, d'un point de vue de projet, seul le domaine élastique est considéré).

III. Equipement

- Ordinateur

IBM 360

IV. Informations spécifiques

- Etat d'utilisation En test

V. Références

M. Fantozzi - "Calcolo delle tensioni meccaniche e termiche nelle
guaine di un elemento combustibile" EUR 4049 i

I. Identification

Nom	DIFHYD
N° de travail	68.9991.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteur et Adresse	M.F. Jamet - Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Les tubes guides en alliage de Zirconium demandent des précautions d'emploi car ces alliages sont fragilisés par la formation d'hydrure à partir de l'hydrogène provenant du réfrigérant. Un moyen de protection contre l'hydrure est de souder des ailettes à la paroi externe du tube ("puits d'hydrogène"), ailettes où l'hydrure précipite préférentiellement.

DIFHYD calcule, en régime établi, la répartition de la température et de la DIFfusion de l'HYDrogène dans le canal et permet de dimensionner l'ensemble tube-guide-ailettes.

b) Hypothèses de base. Approximations

- On suppose une symétrie parfaite par rapport aux axes des ailettes et aux points de soudures. Le code calcule donc un domaine limité verticalement par le plan de symétrie d'une ailette et par le plan de symétrie entre 2 ailettes, et horizontalement l'axe d'une soudure et le plan de symétrie entre 2 soudures consécutives.

De plus, les dimensions traitées étant faibles vis à vis des rayons de courbure, le problème est traité en géométrie cartésienne à 3 dimensions.

- Le rayonnement entre les 2 surfaces tube guide, tube de calandre) est calculé d'une façon globale.

c) Méthodes de calcul

Le domaine à étudier est subdivisé en I zones horizontales et J zones verticales. Pour chaque zone ainsi définie les équations de transfert de chaleur et de diffusion de l'hydrogène sont écrites avec la méthode des différences finies. Les systèmes d'équations linéaires donnant les températures et les concentrations en hydrogène de chaque zone sont résolus par itérations successives, et, à partir des conditions aux limites fixées pour chaque étude, par les conditions de fonctionnement.

d) Données d'entrée

- Les données géométriques de l'ensemble
- Les températures de l'organique et de l'eau lourde
- La densité de puissance due au rayonnement gamma
- Les caractéristiques physiques des matériaux constituants.

e) Limitation

<u>Machine</u>	Découpage du domaine		} 750 points
	horizontalement	150	
	verticalement	5	

f) Résultats et marge d'incertitude

- Les températures des N zones considérées
- Les concentrations d'hydrogène de ces zones, lorsque la limite de solubilité est une zone de l'ailette
- Le temps nécessaire pour atteindre cet état
- Le temps nécessaire pour atteindre l'état d'équilibre
- La répartition des températures pour un tube guide lisse
- L'augmentation des pertes thermiques dues aux ailettes

Marge d'incertitude

Les marges d'incertitude de la méthode sont dues principalement au calcul du rayonnement qui n'est pas fait d'une façon rigoureuse, et à certaines caractéristiques physiques qui sont approximatives (par exemple facteur de rayonnement).

III. Equipement

- | | |
|--------------|---------|
| - Ordinateur | IBN 360 |
|--------------|---------|

IV. Informations spécifiques

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| - Temps de calcul | 20 à 30' suivant les cas |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran |
| | Deck Binaire |

V. Références

M.F. Jamet avec la collaboration de M. Lecloux

"Code DIFHYD - Méthode pour le calcul de la diffusion
de l'hydrogène dans un tube guide à ailettes en alliage
de zirconium" EUR à paraître

I. Identification

Nom	HDP2
N° de travail	05.9968.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	W. Balz - Projet ORGEL C. Bona - Cetis EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Le code HDP2 permet la détermination à puissance nominale et à puissance réduite des caractéristiques stationnaires du cycle de vapeur et de l'échangeur principal.

A puissance nominale HDP2 détermine (design case) :

- Le cycle de vapeur pour des caractéristiques fixées, telles que les températures de l'organique, pinch points de l'échangeur, et la pression de vapeur.
- Les rendements : thermodynamique, électriques brut et net de la centrale.
- Les surfaces de l'échangeur (eco, boiler, surchauffeur, reheater) nécessaires pour produire la puissance électrique brute donnée.

A puissance réduite HDP2 détermine (part load case) :

- La variation des caractéristiques de la vapeur
- Les rendements.

b) Hypothèses de base. Approximations

- Le code peut, sur option, traiter les cycles de vapeur avec ou sans resurchauffe.
- Le resurchauffeur peut être placé
 - en parallèle avec le surchauffeur
 - en série avec le surchauffeur
 - en parallèle avec l'ensemble :
économiseur
évaporateur
surchauffeur
- L'échangeur peut être du type ballon ou Benson
- L'organique est sur la face externe des tubes
- Les propriétés physiques sont calculées pour une température moyenne dans chaque section de l'échangeur.
- Les pertes de charge dans le secondaire sont pour chaque section évaluées proportionnellement à la pression d'entrée de la section. A puissance réduite la perte de charge est réduite proportionnellement au débit.
- Le rendement de détente de la turbine est constant pour chaque cylindre (max. 5 cylindres), un facteur correctif tient compte de l'humidité de la vapeur.
- A puissance nominale l'échauffement est égal dans chaque préchauffeur. A puissance réduite il résulte de la variation des pressions de la vapeur soutirée.
- La vapeur condensée dans les préchauffeurs est refoulée vers le circuit d'alimentation en aval de chaque préchauffeur.
- Un échauffement de l'eau d'alimentation par une source externe de chaleur (refroidissement du générateur ou du modérateur) peut être donné sous forme d'une différence de température.

c) Méthodes de calcul

Puissance nominale

En fonction des températures de l'organique, des pinch points et de la pression de la vapeur, le code calcule la température à l'entrée de l'économiseur et la température de resurchauffe (Diagramme QT). Pour le cycle de vapeur on calcule la détente dans la turbine et les quantités de vapeur soutirée. L'interaction entre le diagramme QT et le calcul de la turbine nécessite un calcul itératif.

Pour la puissance électrique imposée et le rendement obtenu on détermine les débits et les surfaces (économiseur, évaporateur, surchauffeur, resurchauffeur) et la puissance de pompage.

Puissance réduite

Avec des valeurs initiales résultant du calcul "design" on détermine par itération les conditions thermodynamiques dans la turbine. Puis pour les nouvelles conditions de la vapeur au point de soutirage, on calcule le débit de soutirage à chaque préchauffeur. Pour un débit secondaire la température d'alimentation étant déterminée les caractéristiques de la vapeur à l'admission et après la resurchauffe sont calculées pour être compatibles avec les surfaces de l'échangeur. Et si la puissance électrique obtenue est différente de la puissance désirée on recalcule de nouveau avec un débit secondaire modifié.

d) Donnée d'entrée

Puissance nominale

- Température de l'organique à l'entrée et à la sortie de l'échangeur
- Les pinch points de l'échangeur et des préchauffeurs
- L'échauffement ou le nombre des préchauffeurs
- Nombre d'échangeurs en parallèle
- Pression de la vapeur à l'entrée de la turbine
Pression de resurchauffe
Pression au condenseur
- Les facteurs de perte de charge
- Les rendements de la turbine, du générateur, des pompes, des moteurs d'entraînement des pompes
- La vitesse à la sortie de la turbine
- La vitesse d'écoulement dans chaque section de l'échangeur
- Les dimensions des tubes de l'échangeur.

Puissance réduite

Comme chaque cas "part load" est précédé d'un cas "design" les données pour la "puissance nominale" sont obligatoires.

- Température de l'organique à l'entrée et à la sortie de l'échangeur ou température à l'entrée plus le débit d'organique.
- Pression de vapeur à l'entrée de la turbine, pression au condenseur
- Le facteur de puissance (fraction de la puissance nominale)
- Le rendement de la turbine

e) Limitation

Physique

- Le réfrigérant primaire est soit un mélange de triphényles (OM2); soit un mélange de triphényles hydrogénés (HB 40) avec un taux de lourds à fixer
- La conception de l'échangeur

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour chaque cas

- La puissance thermique échangée
- Les débits (primaire et secondaire)
- Les quantités de chaleur à échanger dans chaque section de l'échangeur
- Les températures et la pression dans chaque section
- Les quantités de vapeur soutirée
- Les caractéristiques de la vapeur après chaque détente partielle
- Le rendement thermodynamique
- Le rendement brut et net du cycle de vapeur
- La puissance de pompage pour les pompes d'extraction et d'alimentation
- Les coefficients d'échange.

Puissance nominale

- Les surfaces de l'échangeur
- Le nombre des préchauffeurs

Puissance réduite

- Condition de la vapeur à la sortie du surchauffeur et resurchauffeur.

Marge d'incertitude

Les marges d'incertitude sont dues aux formules employées pour les coefficients d'échange et aux simplifications faites pour le calcul du rendement.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 20"

- Etat d'utilisation Actuellement la partie qui traite le design est en exploitation (HDP2).
Le code complet HDP2 est en test

- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire (sur bande ou disque)

V. Référence

W. Balz, C. Bona, G. Cechelin

HDP2 - A digital program calculating the surfaces and the efficiencies of a heat exchanger coupled with a turbine at nominal power and at part load

Part I : Description of the code version HD2 calculating the nominal power characteristics

EUR Report (to be published)

I. Identification

Nom	PERFOR 1
N° de travail	68.9977.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	B. Chambaud, P. Civardi et C. Maurandy Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

PERFOR permet de calculer les performances thermo-hydrauliques globales d'un réacteur de type ORGEL.

b) Hypothèses de base. Approximations

Identiques à celles de THESEE 1.

c) Méthodes de calcul

1. Canal le plus chargé

La méthode de calcul est identique à celle de THESEE 1 mais est complétée, après le premier passage, par la détermination de la température d'entrée du réfrigérant dans le canal, lorsque la température maximale de gaine est imposée.

2. Autres canaux

a) Pour chaque canal on détermine la vitesse moyenne d'entrée, afin que la limitation sur la température maximale de gaine soit atteinte.

b) On impose la vitesse d'entrée et on détermine les températures maximales de gaine.

d) Données d'entrée

Identiques à celles de THESEE 1; il faut en outre disposer des distributions axiales de génération de puissance de tous les canaux.

e) Limitation

<u>Machine</u>	Nombre de zones du réacteur	60
	Nombre de grappes par canal	7
	Nombre de zones axiales par grappe	10
	Nombre de sous-canaux par zone axiale	8

f) Résultats

Le code détermine, pour l'ensemble du réacteur

- La température d'entrée du réfrigérant
- La température de sortie du réfrigérant
- La puissance thermique
- Le débit global
- La pression d'entrée pour une marge de sécurité imposée vis à vis de l'ébullition
- La perte de charge

En outre, il calcule le rendement thermodynamique de la centrale à partir de HDP2 et détermine le niveau de puissance nécessaire pour obtenir une puissance électrique brute donnée.

III. Equipement

- Ordinateur	IBM 360
--------------	---------

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul	20' par réacteur
- Etat d'utilisation	en exploitation
- Matériel disponible	Deck Fortran Deck Binaire

V. Référence

B. Chambaud, P. Civardi, C. Naurandy - "PERFOR 1 - Code de calcul des performances d'un réacteur de type ORGEL"
EUR 4193 f

I. Identification

Nom	PERFØR 2
N° de travail	68.9977.XXXX
Langage	FØRTRAN 360
Auteurs et Adresse	B. Chambaud Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

PERFØR 2 calcule les performances thermohydrauliques globales d'un réacteur type ORGEL en tenant compte

- de la distribution des coefficients d'échange thermique autour d'un crayon (THESEE 2)
- de la conductibilité circonférentielle de la chaleur et donne en plus les "Hot Channel Factors" (THESEE 3)

b) Hypothèses de base. Approximation

Cf. PERFØR 1 - THESEE 3

c) Méthodes de calcul

Identiques à celles de PERFØR 1
THESEE 2
THESEE 3

d) Données d'entrée

- Outre les données nécessaires à PERFØR 1
- La génération de puissance développée en série double de Taylor et de Fourier en r et θ
- Résistance thermique de la gaine et de l'interstice gazeux entre combustible et gaine (série de Fourier)

- La distribution angulaire, en valeurs relatives, des coefficients d'échange thermique autour d'un crayon
- Valeurs des déviations standard pour le calcul statistique.

e) Limitation

<u>Machine</u>	} Identiques à celles de PERFOR 1
<u>Physique</u>	

f) Résultats

Pour l'ensemble du réacteur

- Les mêmes résultats que PERFOR 1

Pour le canal le plus chargé

- Les mêmes résultats que THESEE 2 { Les distributions fines :
de la température du fluide ,
du coefficient d'échange ,
des températures de gaine ,
des flux thermiques .
- Les mêmes résultats que THESEE 3 { évaluation des points chauds ,
écarts standard et les
fonctions de distribution
des principales grandeurs.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360

IV. Informations spécifiques

- Programme auxiliaire TEMPLØC cf. THESEE 2
- Temps de calcul 1 heure 30
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

B. Chambaud - "PERFOR 2 - Performances d'un réacteur de type ORGEL. Code de calcul des performances nominales, des perturbations thermohydrauliques et des facteurs de points chauds statistiques" EUR (à paraître)

I. Identification

Nom	DYNOR
N° de travail	055870.XXXX
Langage	FORTTRAN IV 7090 FORTTRAN 360
Auteurs et Adresse	C. Bona, H. D'Hoop - Cetis J. Noailly - Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Le code DYNOR est destiné à étudier le comportement dynamique d'une centrale de puissance ORGEL soumise à des conditions variables diverses (une variation programmée de puissance, une perturbation de réactivité, de température ou de débit).

b) Hypothèses de base. Approximations

DYNOR est le modèle mathématique qui permet d'étudier la dynamique conventionnelle de l'installation. La simulation comprend le réacteur, l'échangeur (économiseur, évaporateur, surchauffeur) les circuits et le système de régulation. La turbine n'est pas représentée. Le réacteur est simulé suivant un modèle point c'est-à-dire que la cinétique et la thermique sont décrites par des valeurs intégrales sur tout le réacteur. L'échangeur est un modèle à multizones (deux pour l'économiseur, trois pour l'évaporateur, trois pour le surchauffeur, il s'agit d'un échangeur à ballon à circulation naturelle).

- La température d'entrée de l'eau d'alimentation est constante en fonction de la puissance
- Les propriétés physiques de la vapeur sont données par des tables qui couvrent un certain régime de température et de pression.

c) Méthodes de calcul

La résolution du système d'équations obtenues à partir des différentes conditions de fonctionnement est faite par le sous-programme SAHYB - 2.

d) Données d'entrée

Concernant

Le réacteur	Puissance d'un canal
	Durée de vie des neutrons
	Caractéristiques des neutrons β_i, λ_i
	Coefficients de température du combustible et du réfrigérant
	Température d'entrée
	Température moyenne du réfrigérant
	Température moyenne du combustible
Le circuit	Température moyenne de la gaine
	Temps de passage de l'organique dans le coeur
	Temps d'écoulement du réfrigérant primaire
L'échangeur	Caractéristiques statiques et propriétés de la vapeur dans le diagramme de fonctionnement considéré

Système de
contrôle

Equations régissant le système de contrôle choisi :
(proportionnel, tout ou rien ...)
dans la sous-routine existante, la version standard est relative à un système proportionnel.
La constante d'inertie des barres, leur vitesse maximale en p.c.m/s., leur plage de réactivité en p.c.m.

e) Limitation

Physique

Inhérente au modèle mathématique choisi :
choix d'un modèle point pour le réacteur et multizone pour l'échangeur.
D'autre part les caractéristiques de la vapeur ne sont valables que dans un certain intervalle.

f) Résultats et marge d'incertitude

Le code délivre les transitoires de grandeurs

- neutroniques
- thermo-hydrauliques
- thermo-dynamiques

Marge d'incertitude

Les marges d'erreurs dépendent du pas d'intégration, de la précision sur les propriétés physiques, elles sont d'autant plus faibles que les perturbations introduites entraînent des variations lentes des principales grandeurs de la centrale.

III. Equipement

- | | |
|----------------------|--|
| - Ordinateur | IBM 7090
IBM 360 |
| - Système | IBSYS-IBJOB |
| - Unité périphérique | 1 Bande banale
Traceur de courbes Calcomp |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|--------------------------|--|
| - Programmes auxiliaires | - SAHYB-2 Programme résolvant un système d'équations différentielles
H. D'Hoop, R. Monterosso |
| | - Librairie Calcomp |
| - Temps de calcul | quelques minutes |
| - Etat d'utilisation | en exploitation |
| - Matériel disponible | Deck Fortran
Deck Binaire |

V. Références

W. Balz, C. Bona, A. Decressin, H. D'Hoop, J. Noailly -
"ORGEL Dynamics" EUR (à paraître)

I. Identification

Nom	CINOR
N° de travail	05.5870.XXXX
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	H. D'Hoop - Cetus J. Noailly - Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Ce code traite les équations de CINétique d'un réacteur ORGEL en vue d'en étudier le démarrage et, en particulier, son régime sous critique. C'est un DYNOR simplifié d'où sont retirés les échangeurs et le circuit primaire.

b) Hypothèses de base. Approximations

Se référer à DYNOR.

En outre la puissance du réacteur, au démarrage, étant très faible, les coefficients de température sont considérés nuls. (Toutefois, il est toujours possible de reprendre de DYNOR, les équations thermiques du réacteur et de donner des valeurs désirées aux coefficients de température).

c) Méthodes de calcul

cf. DYNOR

d) Données d'entrée

- | | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------|
| - Durée de vie des neutrons | } | dans le réacteur |
| - Caractéristiques des neutrons | | |
| - Etat initial du réacteur | } | puissance |
| | | facteur de multiplication |
| | | et terme de source éventuelle |

Il est possible d'introduire des perturbations de réactivité telles que :

- un échelon de durée finie
- une impulsion
- une rampe
- une fonction arbitraire

e) Limitation

cf. DYNOR

f) Résultats

Les transitoires des grandeurs neutroniques pendant le démarrage.

III. Equipement

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| - Ordinateur | IBM 360 |
| - Unité périphérique | 1 Bande banale |
| | Traceur de courbes Calcomp |

IV. Informations spécifiques

- | | |
|--------------------------|--|
| - Programmes auxiliaires | - SAHYB 2 Programme résolvant un système d'équations différentielles
H. D'Hoop, R. Monterosso |
| | - Librairie Calcomp |

- Temps de calcul	quelques minutes
- Etat d'utilisation	en exploitation
- Matériel disponible	Deck Fortran
	Deck Binaire

V. Références

W. Balz, C. Bona, A. Decressin, H. D'Hoop, J. Noailly -
"ORGEL Dynamics" EUR (à paraître)

I. Identification

Nom	COSTANZA
N° de travail	60.5936.XXXX Version axiale 60.5937.XXXX Version cylindrique Version à 2 dimensions
Langage	FORTAN 360/65
Auteurs et Adresse	G. Forti, E. Vincenti - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

Codes pour le calcul de la dynamique des réacteurs nucléaires à réfrigérant liquide ou gazeux.

a) Description du problème résolu

Les codes COSTANZA cylindrique, COSTANZA axial et COSTANZA à deux dimensions résolvent les équations cinétiques de la diffusion, en 2 groupes d'énergie :

- COSTANZA axial traite une géométrie plane
- COSTANZA cylindrique traite une géométrie radiale
- COSTANZA à 2 dimensions permet de traiter les dimensions réelles d'un réacteur à symétrie cylindrique.

Le calcul neutronique est couplé avec le calcul de la transmission de la chaleur du combustible à la gaine et au réfrigérant et avec la thermohydraulique du canal. Pour la version axiale le réfrigérant peut être en ébullition : le problème est alors traité par le sous programme FRANCESCA (Cf. p86)

Développements futurs

- Les versions radiales et à deux dimensions seront, par la suite, couplées avec FRANCESCA
- La version radiale sera couplée avec un code neutronique axial : méthode plus rapide pour obtenir des résultats analogues à ceux de la version à deux dimensions

b) Hypothèses de base. Approximations

La géométrie de l'élément combustible et du canal peut être cylindrique ou plane. Les températures d'entrée et le débit dans les canaux peuvent varier en fonction du temps.

Les répercussions des températures du combustible et du réfrigérant sur les constantes nucléaires sont considérées indépendamment.

Le mouvement des barres de contrôle ou les concentrations de l'empoisonnement diffusé sont simulés par des variations des sections efficaces thermiques d'absorption dans les différentes zones du réacteur.

Pour la version cylindrique la distribution axiale du flux est donnée (indépendamment pour chaque canal) et reste constante en fonction du temps.

c) Méthodes de calcul

- Calcul neutronique de l'état initial

Détermination de la distribution du flux et des précurseurs correspondants des neutrons retardés.

- Recherche de criticalité (sur option)

On fait varier la concentration de l'empoisonnement dans une ou plusieurs zones de façon que l'inverse de la période du flux thermique moyen soit inférieur à un nombre fixé

- Calcul thermique de l'état initial

Détermination en fonction de la puissance et pour chaque canal des distributions des températures à l'état d'équilibre dans le combustible, la gaine et le réfrigérant.

- Calculs dynamiques

A chaque intervalle de temps, les équations neutroniques dépendantes du temps sont résolues en tenant compte de la variation des sections efficaces de l'empoisonnement dû au mouvement de barres de contrôle et à la répercussion des températures sur les constantes nucléaires.

Les concentrations des précurseurs des neutrons retardés varient à chaque intervalle de temps en fonction de la densité de fission à l'instant précédent.

d) Données d'entrée

- Constantes neutroniques de groupe
 - Valeurs de l'empoisonnement en fonction du temps (représentant le mouvement des barres de contrôle)
 - Coefficients de température
 - Caractéristiques géométriques et hydrauliques du canal
 - Température à l'entrée
et vitesse
- } du réfrigérant en fonction du temps

e) Limitation

<u>Machine</u>	Nombre maximum de points du réseau	100
	Nombre maximum de groupes de neutrons	10
pour COSTANZA cylindrique	{ Nombre maximum de régions chacune peut contenir un canal qui peut être subdivisé en 20 zones axiales	10

Physique

La perte de réfrigérant ne peut être traitée.

f) Résultats

- Flux rapide et thermique
- Distribution des températures dans l'ensemble combustible-gaine - réfrigérant.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360/65

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 1' - 2' pour 1000 intervalles de temps
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Référence

G. Forti, E. Vincenti - "The codes COSTANZA for the Dynamics of Liquid cooled nuclear Reactors" EUR 3633 e.

I. Identification

Nom	COSTANZA version XENON
N° de travail	
Langage	FORTTRAN 360/65
Auteurs et Adresse	G. Forti, E. Vicenti - D.P.R. EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

Le code calcule en géométrie radiale et axiale les transitoires du Xenon et l'instabilité qui en découle dans le réacteur, et détermine automatiquement la puissance qui peut être atteinte à chaque instant après un shut-down ou une variation quelconque de la puissance.

b) Hypothèses de base. Approximations

Les mêmes que pour COSTANZA

c) Méthodes de calcul

Le code consiste en une succession de calculs d'états stationnaires obtenus par la résolution de l'équation de diffusion dépendante du temps avec recherche de la criticalité en variant le poison de contrôle jusqu'à l'annulation de la dérivée par rapport au temps.

Avec la distribution du flux au temps t le code détermine en chaque point la concentration du Xénon et de l'Iode au temps $t + dt$ et calcule l'évolution du flux pour ce nouveau temps.

d) Données d'entrée

- Constantes neutroniques de groupe
- Coefficients de température
- Niveau de puissance

- Caractéristiques géométriques et hydrauliques du canal
- Température d'entrée } du réfrigérant en fonction du temps
et vitesse }

e) Limitation

Machine : Cf. COSTANZA

f) Résultats

- Distribution du flux neutronique rapide et thermique
des concentrations des Iodines
des Xénons
- Niveau de puissance qu'il est possible d'atteindre
- Position à chaque instant des barres de contrôle pour
obtenir la puissance fixée.

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360/65

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 5' pour un calcul de 24 heures et
50 points
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

Rapport en préparation

I. Identification

Nom	ACCØR
N° de travail	68.9761.XXXX
Langage	FORTTRAN IV 7090
Auteur et Adresse	M.F. Jamet - Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

ACCØR (ACCidents ORgel) est un code permettant l'étude des régimes transitoires résultant d'un arrêt d'urgence du réacteur, de l'arrêt des pompes, etc., dans un canal type ORGEL.

Les distributions des températures du combustible, des gaines et du réfrigérant sont déterminées en tenant compte de la variation spatio différentielle des paramètres suivants :

- résistance thermique de contact gaine combustible
- caractéristiques physiques du réfrigérant
- coefficient d'échange entre gaine et réfrigérant.

b) Hypothèses de base. Approximations

- Un seul crayon représente l'élément combustible; ses caractéristiques géométriques et hydrauliques sont celles du crayon le plus chargé dans la grappe
- La conduction axiale dans le combustible ainsi que les pertes thermiques à l'extérieur du canal sont négligées

- Le système, de géométrie cylindrique, est subdivisé en zones axiales et en zones radiales concentriques
- Le flux neutronique à une distribution axiale constante en fonction du temps.

c) Méthodes de calcul

L'équation du bilan de la chaleur est établie pour chaque zone considérée, par la méthode des différences finies. Pour chaque subdivision axiale on obtient aussi un système linéaire à N inconnues (N nombre de subdivisions radiales) qui est résolu après inversion de la matrice des coefficients. Les caractéristiques physiques du réfrigérant sont calculées pour chaque subdivision axiale en fonction de la température de la subdivision précédente.

d) Données d'entrée

- Caractéristiques géométriques et hydrauliques du crayon dans la grappe
- Performances nominales du canal
- La distribution de la résistance thermique de contact combustible gaine fournie par CRAYON pour un taux de combustion donné

- Description
du transitoire
à étudier

{
Puissance
Température
à l'entrée
Pression
d'alimentation
du réfrigérant

{ en fonction
du temps

e) Limitation

<u>Machine</u>	Nombre de zones radiales dans le combustible	20
	verticales dans le combustible	30

f) Résultats et marge d'incertitude

Pour chaque intervalle de temps du transitoire

- Distribution complète des températures sur l'ensemble du crayon gaine réfrigérant
- Pression du réfrigérant
- Sécurité vis à vis du burn out
- Sécurité vis à vis de l'ébullition
- Tension dans la gaine due à la pression interne des gaz
- Déformation plastique de la gaine
- Pression interne des gaz

Marge d'incertitude

Certains transitoires ont été étudiés par ACCOR et DYNOR; on a pu constater que les deux codes donnent des résultats quasi identiques sur les constantes de temps des systèmes considérés.

III. Equipement

- | | |
|--------------|-------------|
| - Ordinateur | IBM 7090 |
| - Système | IBSYS-IBJOB |

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 0.7" par intervalle de temps
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
 Deck Binaire

V. Référence

M.F. Jamet - "ACCØR : Etude pour le calcul des transitoires
d'un canal ORGEL" Communication EURATOM (diffusion restreinte)

I. Identification

Nom FRANCESCA
N° de travail
Langage FORTRAN 360/65
Auteurs et Adresse G. Forti - D.P.R.
EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

FRANCESCA calcule, en fonction du temps, les caractéristiques thermohydrauliques d'un canal ORGEL où se produit l'ébullition du réfrigérant, il évalue l'ébullition sous-refroidie et éventuellement la surchauffe du liquide.

b) Hypothèses de base. Approximations

On suppose qu'il y a mixing parfait du réfrigérant tout le long du canal : chaque variable sera donc définie à chaque niveau par sa valeur moyenne sur la section

Pour les caractéristiques physiques du fluide, la pression du système est supposée constante en fonction du temps et de l'espace.

c) Méthodes de calcul

La résolution du système d'équations différentielles est faite par la méthode aux différences finies implicites, en espace et en temps.

Au début de chaque problème les conditions stationnaires sont déterminées à partir de la puissance donnée et des autres paramètres à l'équilibre.

d) Données d'entrée

- Distribution axiale de puissance
- Variation en fonction du temps
 - du niveau de puissance
 - du sous refroidissement à l'entrée
 - de la pression d'alimentation ou de la vitesse d'entrée du réfrigérant
- Données géométriques et thermiques du canal
(l'élément combustible peut être un cylindre, une plaque ou avoir une géométrie quelconque, dans ce cas les capacités et les résistances thermiques de chaque zone radiale de l'élément, doivent être spécifiées).

e) Limitation

Machine : Nombre de zones axiales 100
 Nombre de zones radiales 10
 Nombre de zones axiales
 dans la partie non active } 10
 du canal

Physique : Les accidents de dépressurisation ne peuvent être traités.

La conduction de chaleur après le "DNB" n'est pas traitée.

f) Résultats

A chaque intervalle de temps

- Flux thermique
 - Température du liquide
 - Fraction de vide
- } pour chaque zone axiale
- Chute de pression dans le canal
 - Titre de la vapeur à la sortie

En chaque point :

- Température du combustible
- Température de la gaine
- Température de la surface de la gaine

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360/65

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 1' pour un problème de 20 points
150 intervalles de temps

- Etat d'utilisation en exploitation

- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

G. Forti - "A dynamic model for the cooling channels of a boiling nuclear reactor with forced calculation and high pressure level" EUR (à paraître)

G. Forti - "FRANCESCA - A dynamic programme for boiling cooling channels" EUR en préparation

I. Identification

Nom	VETRO
N° de travail	
Langage	FORTTRAN 360
Auteurs et Adresse	R. Simon - Projet ORGEL H.I. de Wolde - Cetis EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

VETRO calcule le comportement transitoire d'un fluide à 2 phases dans un canal d'un réacteur. Il détermine les distributions axiales de la fraction de vide, de la vitesse, de la pression et de la température du réfrigérant après une variation importante et rapide des conditions initiales de l'état stationnaire.

b) Hypothèses de base

Le réfrigérant à 2 phases est décrit par un modèle homogène qui suppose une vitesse identique et une dispersion très fine pour les deux phases liquide et vapeur.

La vitesse acoustique est déterminée soit pour un équilibre complet et immédiat ou en supposant aucun échange thermique entre les 2 phases.

L'influence de la friction est négligeable.

La chaleur latente d'évaporation et la capacité calorifique sont prises constantes

La vapeur surchauffée et la vapeur saturée sont considérées comme des gaz parfaits.

La densité de la vapeur est petite vis à vis de la densité du liquide

C) Méthodes de calcul

Les 3 équations de base d'un écoulement à deux phases
et à une dimension :

l'équation $\left\{ \begin{array}{l} \text{de continuité} \\ \text{de moment} \\ \text{d'énergie} \end{array} \right\}$ sont transformées

en ensemble d'équations caractéristiques, qui, avec les
trois conditions de compatibilité, permet le calcul des
variables : fraction de vide, densité et vitesse.

Les équations différentielles pour la variation axiale de
ces trois variables sont calculées par la méthode des
différences finies.

Le code comporte deux cycles d'itérations pour obtenir
la solution du système.

d) Données d'entrée

- 1- Les conditions aux limites : pression constante ou vitesse
à l'entrée du réfrigérant
flux thermique
- 2- Les conditions initiales : les distributions axiales
initiales de
 - la température
 - la vitesse
 - la densité
 - la pression
 - le flux thermique

e) Limitation

physique : Le code ne peut calculer un écoulement superso-
nique

Le modèle homogène n'est pas satisfaisant si les
fractions de vide dépassent 50 %

f) Résultats

Pour chaque temps et en chaque point la version actuelle du code donne les résultats suivants :

- vitesse moyenne
- pression
- fraction de vide
- température
- vitesse acoustique inférieure et supérieure
- flux thermique

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360

IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 4 sec
- Etat d'utilisation en test
- Matériel disponible Deck Fortran

V. Référence

Rapport en préparation

I. Identification

Nom	CROOC
N° de travail	
Langage	FORTTRAN 360/65
Auteurs et Adresse	R. Simon - Projet ORGEL H.I. de Wolde - Cetis EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

CROOC (Conséquences of Rupture Of Organic Circuits) est un code qui calcule les variations de pression, de température et de concentrations dans l'enceinte du réacteur, consécutives à une fuite de réfrigérant; et étudie l'efficacité d'installations de sécurité telles que des systèmes de douches et des cloisonnements internes.

b) Hypothèses de base. Approximations

Le code décrit séparément pour le hall et la casemate le comportement thermohydraulique des mélanges d'air (ou d'azote), d'HB 40 chaud et d'eau (provenant des douches), on suppose que

- l'équilibre thermique s'établit immédiatement :
- il n'y a pas de pertes thermiques vers l'extérieur
- les vapeurs d'organique et d'eau se comportent comme des gaz parfaits

La chaleur d'évaporation de l'organique est négligeable. Les chaleurs spécifiques sont constantes avec la température. Pour le bilan d'énergie la chaleur d'évaporation de l'eau est constante (l'enthalpie de la phase liquide est négligée).

- l'expansion dans la casemate est isothermique
- la décharge et la compression vers l'autre enceinte sont adiabatiques.

c) Méthodes de calcul

On calcul successivement :

- le bilan de masse
 - le bilan d'énergie
 - les pressions - les températures
 - les densités des composants et du mélange
- } dans chaque
enceinte
- les transferts de masse et d'énergie d'une enceinte à l'autre.

Lorsque la pression partielle d'organique atteint la saturation la pression de vapeur d'organique est calculée d'après la courbe de pression de vapeur.

La pression partielle de l'eau est toujours calculée d'après la loi des gaz parfaits.

d) Données d'entrée

- volumes de la casemate et du hall
- débit initial des systèmes de douche
- délai d'intervention des systèmes de douches dans les 2 circuits
- débit de fuite
- température du réfrigérant
- données nécessaires pour le calcul des caractéristiques physiques des fluides en présence

e) Limitation

Physique : dès que l'état de vapeur de l'eau dispersée dans une enceinte n'est plus uniquement en phase vapeur le calcul n'est plus correcte

f) Résultats

Pour chaque intervalle de temps le code évalue pour la casemate et pour le hall

- Les pressions partielles $\left\{ \begin{array}{l} \text{de l'organique} \\ \text{de l'eau} \\ \text{de l'air} \end{array} \right.$
- La pression totale
- La température
- La quantité d'organique présente
- Le débit massique entre casemate et Hall

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360
- Unité périphérique Traceur de courbes "Calcomp"

IV. Informations spécifiques

- Programme auxiliaire : Librairie Calcomp
(cf. "Programmation relative au Calcomp"
P. Moinil, J. Pire - EUR 2280 f)
- Temps de calcul moins 1', - avec calcomp 3'
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références :

R. Simon, H.I. Wolde - "Code CROCC, Orgel reactor containment design parameters" EUR à paraître

I. Identification

Nom	HTR
N° de travail	
Langage	FORTRAN 360
Auteurs et Adresse	W. Balz, M. Lecloux
	Projet ORGEL
	EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

HTR (Heat exchanger Tube Rupture) est un code qui calcule le transitoire de la pression dans le circuit de vapeur après rupture d'un tube de l'échangeur principal, en fonction des caractéristiques des vannes (vanne de sécurité, vanne d'admission, vanne d'alimentation)

b) Hypothèses de base. Approximations

On représente le circuit de vapeur par une enceinte où le mélange eau vapeur est en équilibre thermodynamique.

Les caractéristiques d'ouverture et de fermeture des vannes en fonction du temps sont données par points.

On suppose négligeable les fuites vers le primaire.

La quantité de chaleur échangée est une constante du temps.

c) Méthodes de calcul

L'énergie interne de l'enceinte est calculée à chaque pas de temps. Elle résulte des quantités d'énergies entrées (vanne d'alimentation, chaleur échangée) et sorties (vannes de sécurité et d'admission). Le volume étant fixé on en déduira la pression par un calcul itératif.

d) Données d'entrée

- Les quantités initiales d'eau et de vapeur dans le circuit secondaire
- La quantité de chaleur échangée
- La pression d'équilibre initiale
- Pression et température de l'eau d'alimentation
- Caractéristiques des vannes

e) Limitation

Machine : Les caractéristiques des vannes sont lues avec 30 pts maximum.

Le calcul se déroule au maximum sur 100 intervalles de temps.

f) Résultats et marge d'incertitude

A chaque intervalle de temps

- | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------|
| - Quantité d'eau | } | dans l'enceinte |
| - Quantité de vapeur | | |
| - Les débits à travers chaque vanne | | |
| - Energie interne dans l'enceinte | | |
| - Pression | | |

Les courbes des pressions en fonction du temps sont tracées par un dataplotter

Marge d'incertitude

Les marges d'incertitude sont dues aux simplifications faites pour le modèle

III. Equipement

- Ordinateur IBM 360
- Unité périphérique Traceur de courbes "Calcomp"

IV. Informations spécifiques

- Programme auxiliaire : Librairie Calcomp
(cf. "Programmation relative au
Calcomp" P. Moinil, J. Pire -
EUR 2280 f)
- Temps de calcul 1 à 2 sec.
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

W. Balz, M. Lecloux - "A code calculating the pressure transient on the secondary side of a heat exchanger after a tube rupture accident" EUR à paraître en 1969

I. Identification

Nom	ORION II
N° de travail	68.9374.XXXX
Langage	FORTRAN II 7090
Auteurs et Adresse	W. Boettcher, B. Haijtink, F. Lafontaine, P. Tauch Projet ORGEL EURATOM-ISPRA-Italie

II. Objet

a) Description du problème résolu

ORION est un code de dimensionnement et d'optimisation d'un réacteur nucléaire du type Orgel associé à une centrale productrice d'électricité. Le code permet une optimisation automatique de certains paramètres indépendants de dimensionnement et de fonctionnement de la centrale, à savoir :

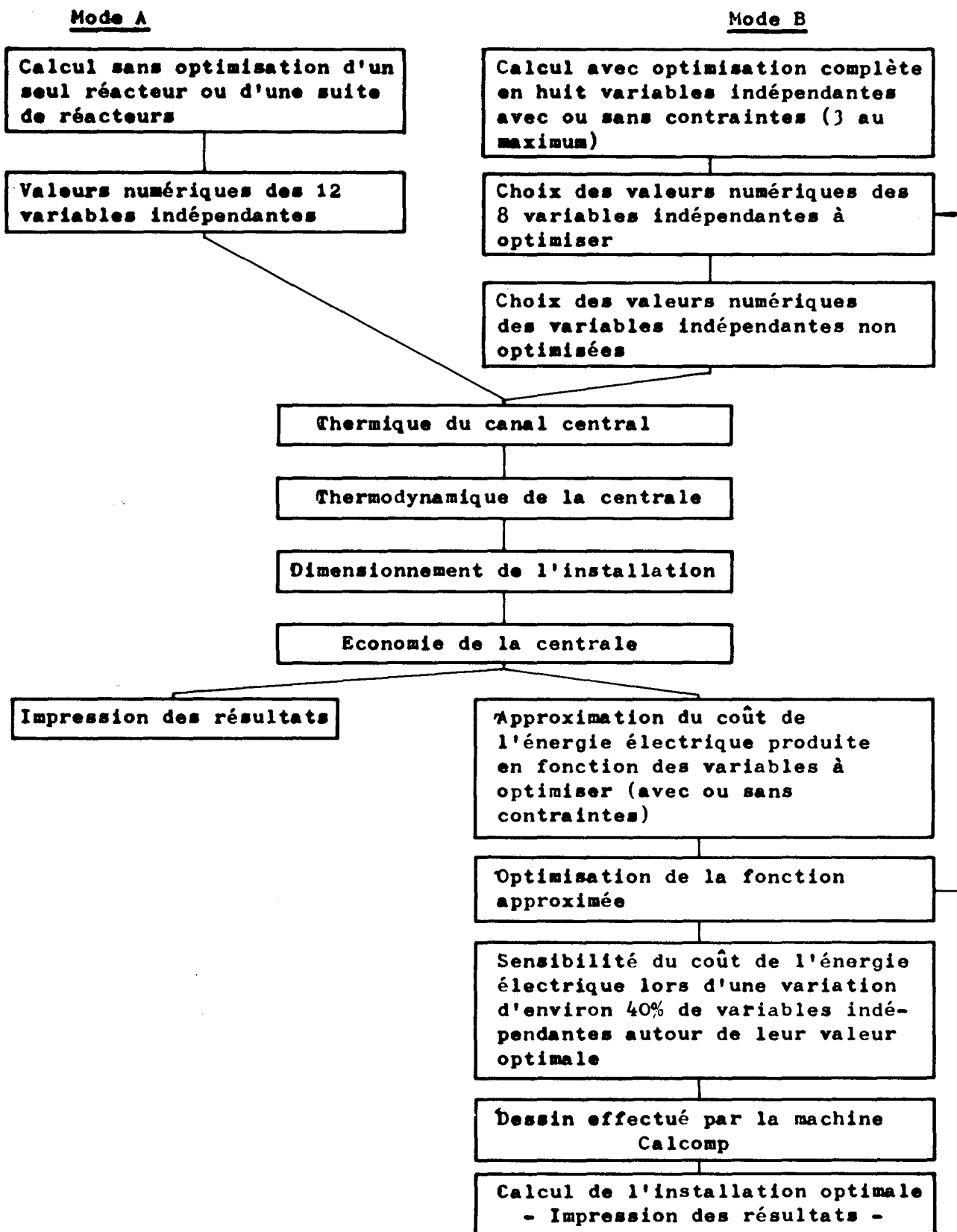
- hauteur du coeur,
 - épaisseur du réflecteur radial,
 - degré d'aplatissement du flux neutronique,
 - épaisseur du réflecteur axial,
 - rapport volume modérateur/volume combustible,
 - température de sortie du réfrigérant,
 - température nominale maximale de gaine,
 - vitesse maximale du réfrigérant dans le canal central
- la géométrie de l'élément combustible étant fixée.

Le but de l'optimisation est un coût minimal du Kilowatt-heure produit.

b) Hypothèses de base. Approximations

- Puissance électrique brute de la centrale comprise entre 125 et 500 MWe
- Température de sortie du réfrigérant organique entre 350 et 450°C, les échanges thermiques se font par convection forcée
- Nature du combustible : soit uranium métallique, oxyde, carbure, soit uranium naturel ou enrichi
- Éléments combustibles sous forme de grappes (4, 7, 19 crayons) ou sous forme de crayons renfermés dans des matrices ou dans des tubes de force individuel
- Chargement du combustible à intervalles courts et réguliers, le réacteur étant en marche et supposé en état d'équilibre
- Cycle de combustible bidirectionnel croisé continu
- Réfrigérant organique est du type OM 2. Autres fluides réfrigérants organiques possibles (il suffit de changer les coefficients décrivant les propriétés physiques du fluide dans les constantes d'entrée)
- L'échauffement est identique dans tous les canaux moyennant réglage du débit
- Forme du flux axial supposée cosinusoidale dans les canaux périphériques
- Coeur du réacteur à deux zones, la zone interne ayant un flux aplati
- Cycle de vapeur sans ou avec surchauffe et resurchauffe par liquide organique
- Evaluation économique de la centrale basée sur une étude détaillée effectuée sous contrat par un groupement de firmes européennes en 1962 qui a permis d'établir des fonctions de prix des différents composants de la centrale.

ORGANIGRAMME DU CODE ORION II



c) Méthodes de calcul

cf Organigramme

d) Données d'entrée

← Les paramètres à optimiser ← leur domaine de variation en plus :

- La puissance électrique brute de l'installation
- La nature du combustible
- Le type de géométrie de l'élément combustible
- Le cycle de vapeur
- Les détails constructifs du réacteur et des circuits
- Le type du réfrigérant
- Caractéristiques neutroniques des réseaux neufs et irradiés
- Propriétés physiques du réfrigérant

e) Limitations

Physiques : Puissance électrique désirée ≥ 125
 ≤ 500 MW
Température de sortie du réfrigérant $\geq 350^{\circ}\text{C}$
 $\leq 450^{\circ}\text{C}$

Eléments $\left\{ \begin{array}{l} \text{à grappes 19, 7, 4 crayons} \\ \text{à crayons} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{dans matrice} \\ \text{à tube de force individuel} \end{array} \right.$

Température maximale de gaine moins température sortie du réfrigérant $\geq 20^{\circ}\text{C}$

Machine : Nombre de centrales intervenant dans l'optimisation
 < 300

f) Résultats et marge d'incertitude

Caractéristiques techniques de la centrale :

- Les dimensions du coeur
- Les caractéristiques $\left\{ \begin{array}{l} \text{thermiques} \\ \text{neutroniques} \end{array} \right\}$ du coeur
- Les performances de la centrale

Caractéristiques économiques de la centrale :

- Les prix des postes les plus importants de la centrale
- Frais fixes de la centrale
- Frais variables de la centrale
- Coût de l'énergie électrique produite

La fonction économique à optimiser est approximée avec une précision de 0,005 mills/KWh

III. Equipement

- Ordinateur IBM 7090
- Unité périphérique Traceur de courbes Calcomp

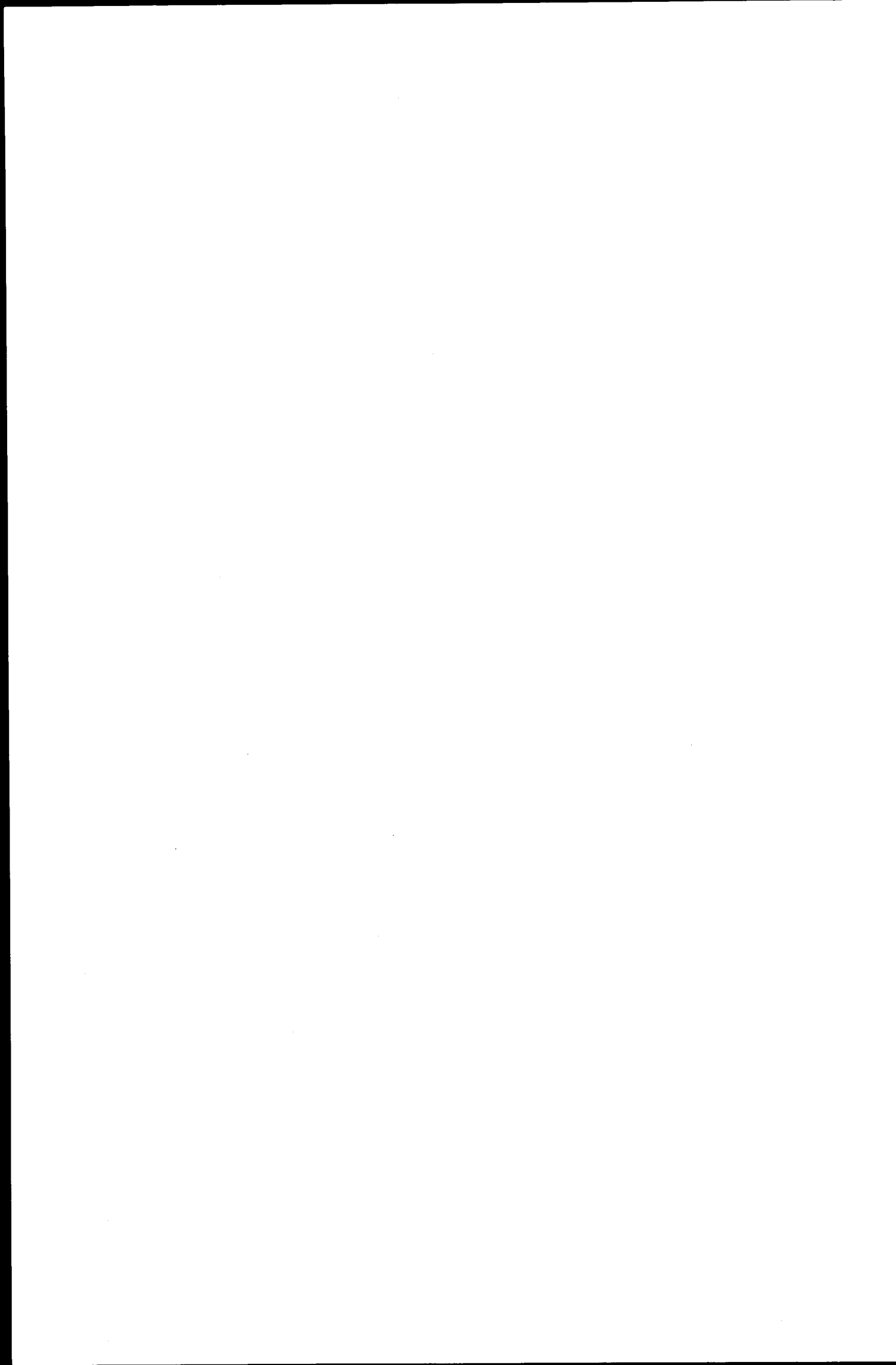
IV. Informations spécifiques

- Temps de calcul 1 à 4' selon le nombre de réacteurs
voulus dans l'optimisation
- Etat d'utilisation en exploitation
- Matériel disponible Deck Fortran
Deck Binaire

V. Références

W. Boettcher, B. Haijtkink, F. Lafontaine, P. Tauch -
"Code ORION II - Code d'optimisation d'un réacteur ORGEL
associé à une centrale productrice d'électricité"
EUR 4067 f

W. Boettcher, F. Lafontaine, P. Tauch - "Recent optimisation
Methods" EUR 2244 e



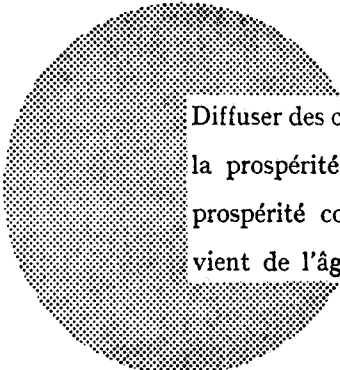
AVIS AU LECTEUR

Tous les rapports Euratom sont signalés, au fur et à mesure de leur publication, dans le périodique mensuel **EURATOM INFORMATION**, édité par le Centre d'information et de documentation (CID). Pour souscrire un abonnement (1 an : FF 75, FB 750) ou recevoir un numéro spécimen, prière d'écrire à :

Handelsblatt GmbH
"Euratom Information"
Postfach 1102
D-4 Düsseldorf (Allemagne)

ou à

Office de vente des publications
des Communautés européennes
2, Place de Metz
Luxembourg



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

BUREAUX DE VENTE

Tous les rapports Euratom sont vendus dans les bureaux suivants, aux prix indiqués au verso de la première page de couverture (lors de la commande, bien indiquer le numéro EUR et le titre du rapport, qui figurent sur la première page de couverture).

OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE
40-42, rue de Louvain - Bruxelles
BELGISCH STAATSBLAD
Leuvenseweg 40-42, - Brussel

LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTÉS EUROPEENNES
9, rue Goethe - Luxembourg

DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTÉS EUROPEENNES
26, rue Desaix - Paris 15^e

UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE
P. O. Box 569 - London S.E.1

ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

EURATOM — C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)